

# Anforderungen an Helme für Motorradfahrer zur Motorradsicherheit

Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen

Fahrzeugtechnik Heft F 64

The logo consists of the word "bast" in a bold, lowercase, green sans-serif font. The letters are slightly shadowed, giving it a 3D appearance. The logo is positioned in the bottom right corner of the page.

# Anforderungen an Helme für Motorradfahrer zur Motorradsicherheit

von

Florian Schueler

unter Mitarbeit von

Thorsten Adolph  
Karsten Steinmann  
Iunia Ionescu

Institut für Rechtsmedizin und Verkehrsmedizin  
Technologische Biomechanik und Unfallforschung  
Universitätsklinikum Heidelberg

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 64

**bast**

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines  
B - Brücken- und Ingenieurbau  
F - Fahrzeugtechnik  
M- Mensch und Sicherheit  
S - Straßenbau  
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

## Impressum

**Bericht zum Forschungsprojekt FE 82.271/2004:**  
Anforderungen an zukünftige Helme für Motorradfahrer zur Steigerung der aktiven Motorradsicherheit

Projektbetreuung  
Rainer Krautscheid

### Herausgeber

Bundesanstalt für Straßenwesen  
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach  
Telefon: (0 22 04) 43 - 0  
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

### Redaktion

Referat Öffentlichkeitsarbeit

### Druck und Verlag

Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH  
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven  
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0  
Telefax: (04 71) 9 45 44 77  
Email: [vertrieb@nw-verlag.de](mailto:vertrieb@nw-verlag.de)  
Internet: [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de)

ISSN 0943-9307  
ISBN 978-3-86509-735-4

Bergisch Gladbach, September 2007

## **Kurzfassung**

Die vorliegende Studie befasst sich mit der Untersuchung der aktiven Sicherheit von Motorradschutzhelmen.

Es wurden auf einander abgestimmte Messungen in den Untersuchungsfeldern Aeroakustik, Aerodynamik, Temperaturverhalten (Belüftungssystem) und psychophysiologische Leistungs- und Befindlichkeitsparameter (Elektrokardiogramm, Elektromyogramm, elektrodermale Aktivität) sowohl in einem Windkanal und als auch in Form systematischer Fahrversuche (Messfahrten) durchgeführt. Grundsätzlich wurden die Messungen in den drei Geschwindigkeitsbereichen 80, 120 und 160 km/h mit einem unverkleideten Motorrad der Mittelklasse (650 ccm, ABS) absolviert. Untersuchungsgegenstand waren hierbei 12 unterschiedliche, entsprechend ausgewählte, aktuelle ECE-R 22.05 geprüfte Helme. Während auftretende Halskräfte mit einem Kraftmessroboter (dreiaxsig) erfasst wurden, diente eine Messpuppe mit Head Acoustic Kunstkopf zur Aufzeichnung von Schalldruckpegeln. Eine identische Akustikmesskette konnte in Verbindung mit In-Ear Mikrofonen bei den Messfahrten eingesetzt werden. Die psychophysiologischen Parameter wurden mittels einer mobilen, achtkanaligen Messkette und entsprechend adaptierten Modulen erfasst.

Mit der gleichen Messkette wurden die Temperaturverläufe mittels sieben Temperatursensoren (davon ein Referenzwertgeber) zwischen Kopfoberfläche und Helminnenen registriert. Der Helmaufbau wurde computertomographisch und zerlegend untersucht.

Auf der Grundlage der Ergebnisse können folgende Empfehlungen bezüglich der aktiven Helmsicherheit gemacht werden:

**Aeroakustik:** Die Messungen lassen Gehör schädigende Schalldruckpegel (Maximalwerte 110 dB(A)) erkennen.

**Aerodynamik:** Bei einer Geschwindigkeit von 160 km/h wurden Werte für die Auftriebskraft (z-Richtung) zwischen 13 und 28 N ermittelt; für die Widerstandskraft (x-Richtung) solche zwischen 29 und 40 N. Ein akuter Bedarf an Anforderungsformulierungen wurde nicht erkennbar.

**Temperatur und Belüftungssystem:** Maximaltemperaturen waren nicht höher als 36°C. Nur bei fünf Helmen war unmittelbar nach Öffnen der Belüftung ein Kühleffekt messbar. Anhand identifizierter Funktionsdefizite und Gestaltungsfehler von Belüftungssystemen konnten Verbesserungshinweise abgeleitet werden.

## **Abstract**

A new active safety assessment study concerning motorcycle helmets was undertaken.

Measurements in the fields of aeroacoustics, aerodynamics, temperature behaviour (ventilation system) of helmets and individual psychophysiological performance and behaviour data (electrocardiogram, electromyogram, electrodermal activity) were completed using a wind tunnel as well as by means of motorcycle test and measurement rides in public traffic. The measurements were recorded and documented generally at three speed levels of 80, 120 and 160 km/h (50, 75, 99 mph). One type of motorcycle (naked bike, midsize 650 ccm, ABS) was used in this study in which 12 different ECE-R 22.05 certified motorcycle helmets were selected as source for results.

The measurement included neck forces (triaxial) using a particular force measurement dummy; sound measurements using an acoustic head dummy, whereas the sound measurement equipment with in-ear microphones was applicable to the project drivers as well.

To gain results concerning individual performance and behaviour parameters, an autonomous micro-sized 8-channel central unit with adapted modules was used.

The same equipment served for temperature measurements with 7 temperature sensors (reference included) fitted on the head under the helmet.

The helmets were firstly analysed according to our computer tomography protocol and afterwards by doing a destructive examination.

From these results recommendations were listed to optimize active helmet safety:

**Aeroacoustics:** The measurements (max. values 110 dB(A)) indicate a significant danger of noise-induced ear damages.

**Aerodynamics:** At a speed of 160 km/h characteristic values are: for the lifting force (z-direction) between 13 and 28 N, for the resistibility force (x-direction) between 29 and 40 N. No obvious need for immediate recommendations was found.

**Temperature and ventilation systems:** Maximum temperature did not exceed 36°C. In only five helmets a direct cooling effect was measurable when switching the ventilation system. From identified malfunctions and design defaults of the ventilation systems considerations for an improvement could be derived.



## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	3
Abbildungsverzeichnis.....	5
Tabellenverzeichnis.....	8
Abkürzungsverzeichnis .....	9
1 Einleitung .....	11
1.1 Aufgabenstellung .....	11
1.2 Anmerkungen zur Projektdurchführung .....	12
1.2.1 Ausgangslage und vorhandene Erkenntnisse.....	12
1.2.2 Randbedingungen.....	14
2 Literatur- und Patentrecherche .....	15
2.1 Literaturrecherche .....	17
2.1.1 Aeroakustik .....	17
2.1.2 Aerodynamik .....	25
2.1.3 Temperatur / Belüftung .....	27
2.1.4 Zur Kohlendioxidkonzentration im Helm .....	28
2.1.5 Zur Erkennbarkeit von Motorradaufsassen .....	29
2.2 Patentrecherche.....	30
2.2.1 Übersicht und Anmerkungen.....	30
2.2.2 Dokumentation der aufgefundenen Patentschriften.....	31
3 Projekthelme .....	33
3.1 Auswahl und Übersicht .....	33
3.2 Computertomographische Untersuchung der Projekthelme .....	33
3.3 Laboruntersuchung der Projekthelme .....	34
3.4 Kurzbezeichnung der Projekthelme .....	36
3.5 Kinnriemenverschlussysteme.....	37
3.6 Ergebnisse der CT-Untersuchungen.....	38
3.7 Ergebnisse der Helmlaboruntersuchung.....	39
4 Messmittel und Messgrößen .....	53
4.1 Projektmotorrad.....	53
4.1.1 Messtechnik am Projektmotorrad.....	54
4.1.2 Lichtbilddokumentation am Projektmotorrad.....	56
4.2 Windkanal .....	57
4.3 Messkette psychophysiologischer Leistungs- und Befindlichkeitsparameter.....	58
4.3.1 Aufbau der Messkette .....	58
4.3.2 Psychophysiologische Indikatoren mentaler Beanspruchung.....	62
4.3.3 Durchführung der Messung.....	64
4.4 Messkette Aeroakustik.....	72
4.4.1 Messtechnik an der Messpuppe .....	72
4.4.2 Messtechnik an den Versuchspersonen .....	72
4.5 Messkette Aerodynamik.....	73
4.5.1 Kraftmessroboter.....	73
4.5.2 Kraftmesshelm .....	74
5 Methodik / Versuchsdurchführung .....	75
5.1 Windkanalversuche.....	76
5.1.1 Ziel der Versuche .....	76
5.1.2 Versuchsbeschreibung und Ablauf der Versuche .....	76
5.2 Systematische Fahrversuche – Teil 1 .....	80
5.2.1 Ziel der Versuche .....	80
5.2.2 Versuchsbeschreibung und Ablauf der Versuche .....	80

5.2.3	Eingesetzte Messtechnik .....	82
5.2.4	Projektfahrer.....	82
5.3	Systematische Fahrversuche – Teil 2 .....	83
5.3.1	Ziel der Versuche .....	83
5.3.2	Versuchsbeschreibung und Ablauf der Versuche .....	83
5.3.3	Eingesetzte Messtechnik .....	85
5.4	Systematische Fahrversuche – Teil 3 .....	86
5.4.1	Ziel der Versuche .....	86
5.4.2	Versuchsbeschreibung.....	86
5.4.3	Eingesetzte Messtechnik .....	88
6	Versuchsauswertung.....	89
6.1	Ergebnisse, erhobene Daten .....	90
6.2	Aspekte der Auswertung .....	91
6.2.1	Ziel der Auswertung .....	91
6.2.2	Statistische Aspekte.....	92
6.3	Darstellung der aeroakustischen Messdaten .....	94
6.3.1	Grundlage der Auswertung .....	94
6.3.2	Windkanalversuche.....	99
6.3.3	Fahrversuche .....	103
6.3.4	Zusammenfassung Aeroakustikmessungen .....	106
6.4	Darstellung der aerodynamischen Messdaten.....	109
6.4.1	Kraftmessroboter.....	109
6.4.2	Kraftmesshelm .....	112
6.4.3	Zusammenfassung Aerodynamikmessungen .....	113
6.5	Darstellung der psychophysiologischen Messdaten .....	114
6.5.1	Pulsfrequenz .....	114
6.5.2	Sinusarrhythmie .....	116
6.5.3	EMG Messungen – Windkanal.....	117
6.5.4	EMG Messungen – Systematische Fahrversuche Teil 3 .....	121
6.5.5	Elektrodermale Aktivität .....	123
6.5.6	Zusammenfassung der psychophysiologischen Messungen.....	123
6.6	Darstellung der Temperatur Messdaten.....	125
6.6.1	Kalibriermessungen der Temperatursensoren.....	125
6.6.2	Temperaturverhalten – Fahrversuche Teil 2.....	128
6.6.3	Temperaturverhalten – Gesamtübersicht.....	136
6.6.4	Einfluss der Farbgebung auf die Helmtemperaturen (Insolationsversuche) .....	139
6.6.5	Zusammenfassung Temperaturmessungen .....	142
7	Diskussion.....	143
7.1	Aeroakustik .....	144
7.2	Aerodynamik .....	145
7.3	Temperaturverhalten und Belüftungssysteme .....	150
7.4	Psychophysiologische Messungen .....	153
7.5	Verbraucherhinweise .....	155
7.6	Forschungsbedarf .....	155
8	Anforderungen an zukünftige Helme.....	157
8.1	Aeroakustik .....	157
8.2	Aerodynamik .....	158
8.3	Temperaturverhalten und Belüftungssysteme .....	158
8.4	Subsysteme .....	159
8.5	Empfehlung für Kauf und Nutzung .....	159
9	Zusammenfassung.....	161
10	Literaturverzeichnis .....	167

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Kooperierende Untersuchungsteams zu BASt FE 82.0271/2004 .....	12
Abbildung 1-2: Versuche mit Geräuschmessungen unter Schutzhelm (Z. Motorrad 1985) ...	13
Abbildung 2-1: COST 357 - PROHELM - Projekt, Projektaufbau .....	16
Abbildung 2-2: Zilien der äußeren Haarzellen, links geschädigt, rechts intakt .....	20
Abbildung 2-3: Wirkungen des Lärms auf den Menschen .....	21
Abbildung 2-4: Schalldruckpegel in dB (A) und zulässige Einwirkdauer am Tag .....	23
Abbildung 3-1: Computertomographie 2D .....	34
Abbildung 3-2: Computertomographie 3D .....	34
Abbildung 3-3: Computertomographie 3D - Schutzpolsterung von außen .....	34
Abbildung 3-4: Computertomographie 3D - Schutzpolsterung von innen .....	34
Abbildung 3-5: CT-SH XR Belüftungssystem vorne .....	38
Abbildung 3-6: CT-SH XR Belüftungssystem - hinten .....	38
Abbildung 3-7: CT-NE MO Bohrung Helmschale frontal .....	39
Abbildung 3-8: CT-NE MO Bohrung Helmschale Helmdom .....	39
Abbildung 3-9: CT-NE MO Belüftungskanal Schutzpolsterung .....	39
Abbildung 3-10: Uvex Boss 530 Sport RS, Frontal- und Seitenansicht .....	40
Abbildung 3-11: Oben: Spoiler mit Belüftungsgitter, (am unteren Helmrand) .....	40
Abbildung 3-12: Draufsicht auf die Schutzpolsterung. ....	40
Abbildung 3-13: Ansicht von unten in die Schutzpolsterung. ....	40
Abbildung 3-14: Uvex FX 250, Frontal- und Seitenansicht .....	41
Abbildung 3-15: Kinnteilbelüftung .....	41
Abbildung 3-16: Stirn- und Überkopfbelüftung, Schirm demontiert .....	41
Abbildung 3-17: Belüftungskanäle in der Schutzpolsterung .....	41
Abbildung 3-18: Airoh SV 55, Frontal- und Seitenansicht .....	42
Abbildung 3-19: Frontalansicht, Gesichtsfeldbelüftungssystem im Kinnbügel .....	42
Abbildung 3-20: Draufsicht auf das Kopfbelüftungssystem .....	42
Abbildung 3-21: Draufsicht Schutzpolsterung mit Belüftungskanälen .....	42
Abbildung 3-22: Probiker RFX, Frontal- und Seitenansicht .....	43
Abbildung 3-23: Gesichts- und Visierbelüftung .....	43
Abbildung 3-24: Kopfbelüftung .....	43
Abbildung 3-25: Draufsicht, Schutzpolsterung mit Belüftungskanälen .....	43
Abbildung 3-26: Nolan N83, Frontal- und Seitenansicht .....	44
Abbildung 3-27: Gesichts- und Visierbelüftung .....	44
Abbildung 3-28: Belüftung bei demontierter Abdeckung .....	44
Abbildung 3-29: Schutzpolsterung mit Luftführungskanälen .....	44
Abbildung 3-30: Nexo Modular, Frontal- und Seitenansicht .....	45
Abbildung 3-31: Gesichtsfeld- und Visierbelüftung .....	45
Abbildung 3-32: Kopfbelüftung mit einseitig demontierter Abdeckung .....	45
Abbildung 3-33: Schutzpolsterung; Pfeil zeigt in Fahrtrichtung .....	45
Abbildung 3-34: Nexo Arizona, Frontal- und Seitenansicht .....	46
Abbildung 3-35: Ansicht in die Schutzpolsterung; Pfeil zeigt in Fahrtrichtung .....	46
Abbildung 3-36: Übersichtsaufnahme der Bestandteile nach Zerlegung .....	46
Abbildung 3-37: Schuberth S1, Frontal- und Seitenansicht .....	47
Abbildung 3-38: Draufsicht auf die Gesichtsfeldbelüftung .....	47
Abbildung 3-39: Schutzpolsterung mit Belüftung und Dichtlippe .....	47
Abbildung 3-40: Belüftungssystem, Schuberth S1, Quelle: Schuberth .....	47
Abbildung 3-41: Schuberth C2, Frontal- und Seitenansicht .....	48
Abbildung 3-42: Draufsicht auf die Gesichtsfeldbelüftung .....	48
Abbildung 3-43: Schutzpolsterung u. Luftführungskanäle .....	48
Abbildung 3-44: Belüftungskanälen und Abdichtung .....	48
Abbildung 3-45: Schuberth J1, Frontal- und Seitenansicht .....	49
Abbildung 3-46: Draufsicht auf das Kopfbelüftungssystem .....	49
Abbildung 3-47: Draufsicht auf das Kopfbelüftungssystem bei demontierter Lufthutze .....	49
Abbildung 3-48: Belüftungsöffnungen und Komfortpolsterung .....	49



Abbildung 3-49: Shoei XR 1000, Frontal- und Seitenansicht .....	50
Abbildung 3-50: Gesichtsfeldbelüftung.....	50
Abbildung 3-51: Öffnungen für den Auslass der Kopfbelüftung .....	50
Abbildung 3-52: Whisper Strip Kit .....	50
Abbildung 3-53: Lidl B-Square, Frontal- und Seitenansicht .....	51
Abbildung 3-54: Helmaußenschale mit demontierter Abdeckung .....	51
Abbildung 3-55: Schutzpolsterung; Pfeil zeigt in Fahrtrichtung.....	51
Abbildung 3-56: Gesichtsfeldbelüftung; Ansicht von oben .....	51
Abbildung 4-1: Projektmotorrad, Suzuki Bandit 650 / ABS .....	53
Abbildung 4-2: Geschwindigkeitssensor am Hinterrad.....	54
Abbildung 4-3: Marker Tastschalter an der Lenkstange montiert.....	54
Abbildung 4-4: Lösbare Kabel-Steckverbindung .....	54
Abbildung 4-5: Gesamter Versuchsablauf als Beispiel für die eingetragenen Marker .....	55
Abbildung 4-6: Lenkerhalterung mit Digitalkamera am Projektmotorrad .....	56
Abbildung 4-7: Prinzipskizze des Aeroakustik-Windkanal der Schubert Engineering AG ....	57
Abbildung 4-8: Übersichtsaufnahme Windkanal mit Messtechnik.....	57
Abbildung 4-9: Zentraleinheit (Datenlogger) .....	58
Abbildung 4-10: Zentraleinheit li. Seite: Anschlussbuchsen für 8 Kanäle plus Fernmarker ...	58
Abbildung 4-11: Prinzipskizze der Messkette PPLBP .....	59
Abbildung 4-12: Befestigung der PPLBP Messkette an der Vp .....	60
Abbildung 4-13: EKG-Modul.....	64
Abbildung 4-14: Bipolare Brustwandableitung nach Nehb .....	65
Abbildung 4-15: EKG Elektroden anterior .....	65
Abbildung 4-16: EKG Elektroden posterior .....	65
Abbildung 4-17: Muskeln des Halses, Rohen und Yokochi 1997.....	67
Abbildung 4-18: Position der Elektroden zur EMG Messung .....	67
Abbildung 4-19: Temperatursensor, links: Unterseite, rechts: Oberseite .....	69
Abbildung 4-20: Position Temperaturmessfühler (Teil 1 und 2).....	70
Abbildung 4-21: Position der Temperaturmessfühler, schematische Übersicht.....	71
Abbildung 4-22: Akustikmesspuppe .....	72
Abbildung 4-23: Auf dem Motorrad installierter Kraftmessroboter .....	73
Abbildung 4-24: Kraftmesshelm (QM 1 Datenhelm, Schubert) .....	74
Abbildung 5-1: Kartenausschnitt der Versuchsstrecke.....	81
Abbildung 5-2: Skizze der Versuchsstrecke und des Versuchsablaufes .....	84
Abbildung 5-3: Temperaturverlauf am Untersuchungstag.....	84
Abbildung 5-4: Skizze der Versuchsstrecke und des Versuchsablaufes .....	87
Abbildung 6-1: Gesamtübersicht der durchgeführten Versuche .....	90
Abbildung 6-2: Frequenzspektrum Normpos. (80, 120, 160km/h); SC C2, JR .....	95
Abbildung 6-3: Frequenzspektrum Normpos. (80, 120, 160km/h); SC C2, Messpuppe .....	95
Abbildung 6-4: Frequenzspektrum Normpos. (80, 120, 160km/h); NE MO, JR .....	96
Abbildung 6-5: Frequenzspektrum Normpos. (80, 120, 160km/h); NE MO, Messpuppe .....	96
Abbildung 6-6: Kennlinie Geräuschpegel und Frequenzspektrum; 120km/h; SC C2; JR .....	97
Abbildung 6-7: Kennlinie Geräuschpegel und Frequenzspektrum; 120km/h; NO N8; II .....	98
Abbildung 6-8: Schalldruckpegel bei 80, 120 und 160 km/h; Messpuppe; Windkanal.....	99
Abbildung 6-9: Schalldruckpegel Vpn, 80 km/h; Normalposition – Windkanal.....	100
Abbildung 6-10: Schalldruckpegel Vpn, 120 km/h; Normalposition – Windkanal.....	101
Abbildung 6-11: Schalldruckpegel Vpn, 160 km/h; Normalposition - Windkanal.....	102
Abbildung 6-12: Schalldruckpegel Vpn, 120 u. 160 km/h; Normalposition – Windkanal.....	102
Abbildung 6-13: Schalldruckpegel Vpn bei 120 km/h; Normalposition - Fahrversuche.....	103
Abbildung 6-14: Schalldruckpegel Vpn bei 160 km/h; Normalposition - Fahrversuche.....	104
Abbildung 6-15: Schalldruckpegel Vpn, 120 u. 160 km/h; Normalposition – Fahrversuche.	105
Abbildung 6-16: Schalldruckpegel bei 120 km/h – Zusammenfassung.....	106
Abbildung 6-17: Schalldruckpegel bei 160 km/h – Zusammenfassung.....	107
Abbildung 6-18: Schalldruckpegelsteigerungen (120 auf 160 km/h) – Fahrversuche.....	108
Abbildung 6-19: Schalldruckpegelsteigerungen (120 auf 160 km/h) – Windkanal.....	108
Abbildung 6-20: Messwerte Kraftmessroboter, 10 Positionen, NO N8, v=160km/h.....	110

Abbildung 6-21: Vergleichende Gegenüberstellung bei 80, 120 und 160 km/h, SC S1 .....	110
Abbildung 6-22: Kraftmessroboter bei 160 km/h; Widerstandskraft .....	111
Abbildung 6-23: Kraftmessroboter bei 160 km/h; Auftriebskraft .....	111
Abbildung 6-24: Kraftmessroboter bei 160 km/h; Querkraftdifferenz .....	111
Abbildung 6-25: Kräfte des Kraftmesshelmes bei 160 km/h, Vp JR .....	112
Abbildung 6-26: Pulsfrequenz und Sinusarrhythmie bei Vp KS; NO N8 .....	114
Abbildung 6-27: PF einer Vp, Windkanal; angeordnet nach PF Median 160km/h .....	115
Abbildung 6-28: Anstieg der PF (80 – 160km/h) einer Vp, Windkanal .....	115
Abbildung 6-29: Windkanal Vp: II; 160 km/h; SC C2 .....	117
Abbildung 6-30: Windkanal Vp: II; 160 km/h; UV FX .....	118
Abbildung 6-31: EMG Windkanal, VP II; angeordnet nach EMG Median 160 km/h .....	119
Abbildung 6-32: EMG Windkanal, VP KS; angeordnet nach EMG Median 160km/h .....	120
Abbildung 6-33: EMG Windkanal, VP JR; angeordnet nach EMG Median 160km/h .....	120
Abbildung 6-34: Statische EMG Versuche .....	121
Abbildung 6-35: Typische statische EMG Messungen an Vpn .....	122
Abbildung 6-36: Fahrversuche mit Vp KS; Helm SH XR und PR RF .....	122
Abbildung 6-37: Ansprechverhalten der Temperatursensoren .....	126
Abbildung 6-38: Vergleichsmessungen, Temperaturfühler .....	126
Abbildung 6-39: Kopftemperaturen (unbehelmt), Laborversuch .....	127
Abbildung 6-40: Temperaturverlauf Fahrversuche Teil 2; UV BO (1) .....	129
Abbildung 6-41: Temperaturverlauf Fahrversuche Teil 2; UV BO (2) .....	129
Abbildung 6-42: Temperaturverlauf Fahrversuche Teil 2; UV FX .....	130
Abbildung 6-43: Temperaturverlauf Fahrversuche Teil 2; AI SV .....	130
Abbildung 6-44: Temperaturverlauf Fahrversuche Teil 2; PR RF .....	131
Abbildung 6-45: Temperaturverlauf Fahrversuche Teil 2; NO N8 .....	131
Abbildung 6-46: Temperaturverlauf Fahrversuche Teil 2; NE MO .....	132
Abbildung 6-47: Temperaturverlauf Fahrversuche Teil 2; NE AR .....	132
Abbildung 6-48: Temperaturverlauf Fahrversuche Teil 2; SC S1 .....	133
Abbildung 6-49: Temperaturverlauf Fahrversuche Teil 2; SC C2 .....	133
Abbildung 6-50: Temperaturverlauf Fahrversuche Teil 2; SC J1 .....	134
Abbildung 6-51: Temperaturverlauf Fahrversuche Teil 2; SH XR .....	134
Abbildung 6-52: Temperaturverlauf Fahrversuche Teil 2; LI BQ .....	135
Abbildung 6-53: Gegenüberstellung zweier Belüftungseinrichtungen .....	135
Abbildung 6-54: Projekthelme im Insulationsversuch .....	140
Abbildung 6-55: Temperaturverlauf statische Insulationsversuche .....	140
Abbildung 7-1: Vp im Windkanal mit Darstellung Windkraft und Gewichtskraft am Helm ....	145
Abbildung 7-2: Kraftmessroboter bei 160 km/h; angeordnet nach Widerstandskraft .....	146
Abbildung 7-3: Rangfolge der EMG Messung bei 160 km/h aller Vpn .....	148
Abbildung 7-4: EMG Messung linker Muskel, VP II vs. Kraftmessung .....	149
Abbildung 7-5: Rangfolge der Pulsfrequenz bei 160 km/h aller Vpn .....	154
Abbildung 8-1: Darstellung der Helmqualitätsklassen – Aeroakustik .....	157
Abbildung 9-1: Schalldruckpegel bei 80, 120 und 160 km/h; Messpuppe; Windkanal .....	163
Abbildung 9-2: Beispiel einer wirkungsvollen Luftstromführung im CT-Schnitt .....	164

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Schalldruckpegelwerte bekannter Schallquellen.....	24
Tabelle 3-1: Übersicht der verwendeten Projekthelme .....	35
Tabelle 3-2: Kurzbezeichnung der Projekthelme .....	36
Tabelle 3-3: Kinnriemenverschlusssysteme der Projekthelme.....	37
Tabelle 4-1: Projektmotorrad, Tachometerkalibrierung.....	53
Tabelle 4-2: Kanalbelegung der Messkette bei den Windkanalversuchen.....	60
Tabelle 4-3: Kanalbelegung der Messkette bei den systematischen Versuchen Teil 1 .....	61
Tabelle 4-4: Kanalbelegung der Messkette bei den systematischen Versuchen Teil 2 .....	61
Tabelle 4-5: Kanalbelegung der Messkette bei den systematischen Versuchen Teil 3 .....	61
Tabelle 5-1: Versuchspersonen .....	75
Tabelle 5-2: Versuchsabschnitte systematische Fahrversuche Teil 1 .....	80
Tabelle 5-3: Versuchsabschnitte systematische Fahrversuche Teil 2 .....	83
Tabelle 5-4: Versuchsabschnitte systematische Fahrversuche Teil 3 .....	87
Tabelle 6-1: Übersicht der erhobenen Daten .....	89
Tabelle 6-2: Ermittelte EMG-Messwerte im Windkanal Vp: II; 160 km/h; SC C2 .....	117
Tabelle 6-3: Ermittelte EMG-Messwerte im Windkanal Vp: II; 160 km/h; UV FX.....	118
Tabelle 6-4: Übersicht zum Temperaturverhalten der Projekthelme .....	137
Tabelle 6-5: Projekthelme Insulationsversuche.....	139

**Abkürzungsverzeichnis**

ABS	Antiblockiersystem
ADAT	Alesis Digital Audio Tape (Anm.: modularer digitaler Achtspur-Recorder der Fa. Alesis)
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
B	Bundesstraße
BAB	Bundesautobahn
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
COST	Cooperation in the field of Scientific and Technical Research
CT	Computertomographie
DAT	Digital Audio Tape
dBA oder dB(A)	Decibel A-gewichtet
DEPATISnet	Deutsche Patentinformationssystem im Internet
DIN 14610	Akustische Warneinrichtungen bei bevorrechtigten Wegbenutzern
DPMA	Deutsches Patent- und Markenamt
ECE	Economic Commission for Europe
ECE-R 22	Regelung 22 der ECE (Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Schutzhelme und ihrer Visiere)
EDA	Elektrodermale Aktivität
EEG	Elektroenzephalogramm
EKG	Elektrokardiogramm
EMG	Elektromyogramm
emf	Windows Enhanced Metafile (Vektorgrafik im 32-bit-Format)
EOG	Elektrookulogramm
EPS	Expandiertes Polystyrol
ff	folgende
GIDAS	German In-Depth Accident Study
GSF 650 A	Typbeschreibung des Versuchsfahrzeugs
HD	Heidelberg
HR	Herzrate
HRV	Herzratenvariabilität
Hz	Hertz
II	Eigenname / Identifizierung Vp
JPEG	Joint Photographic Experts Group
JR	Eigenname / Identifizierung Vp
k. A.	Keine Angaben
KS	Eigenname / Identifizierung Vp
kW	Kilowatt
LED	Light Emitting Diode
li.	links
m	Meter
m. oder M.	musculus
MB	Megabyte (ca. 1 Mio. Byte (1.048.576))
MKK	Messkurvenkonformität
MKM	Messkettenmodul
mph	miles per hour
MRI	Magnetic Resonance Imaging
N	Newton
NGO	Non Governmental Organization
NPS	Normungsausschuss persönliche Schutzausrüstung
O <sub>2</sub>	Sauerstoff
OS	Offenlegungsschrift
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
OSPL	Over All Sound Pressure Level

---

PF	Pulsfrequenz
PGR	Psychogalvanischer Reflex
PPLBP	psychophysiologische Leistung- und Befindlichkeitsparameter
PROHELM	Accident Prevention Options with Motorcycle Helmets
PTS	Permanent Threshold Shift
re.	rechts
rF	relative Feuchte
rms	root mean square
RMS-Signal	root means square-Signal
RR	R-Zacken Abstand
s oder Sek.	Sekunde
SA	Sinusarrhythmie
SCL	Skin conductance level
SCR	Skin conductance response
StVO	Straßenverkehrsordnung
StVZO	Straßenverkehrszulassungsordnung
t	Temperatur
TBU	Technologische Biomechanik und Unfallforschung
TTS	Temporary Threshold Shift
TU Darmstadt	Technische Universität Darmstadt
Vp / Vpn	Versuchsperson / Versuchspersonen
VP	Verkaufspreis
Wav	Waveform Audio File Format
WHO	World Health Organisation
Z.	Zeitschrift

## 1 EINLEITUNG

In dem Zeitraum von Juni 2005 bis Juli 2006 wurde am Institut für Rechts- und Verkehrsmedizin, Fachgebiet Technologische Biomechanik und Unfallforschung im Universitätsklinikum Heidelberg das Projekt FE 82.0271/2004 der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach

### **Anforderungen an zukünftige Helme für Motorradfahrer zur Steigerung der aktiven Motorradsicherheit**

bearbeitet. Die fachliche Betreuung von Seiten der Bundesanstalt lag in Händen von Herrn Dipl.-Ing. R. Krautscheid.

Teilbearbeitungen des Projektes erfolgten in Kooperation mit der Firma Schubert Engineering, Braunschweig, wobei es sich insbesondere um projektdienliche Untersuchungen im Windkanal und Untersuchungen im Zusammenhang mit Geräuschmessungen unter dem Helm handelte.

**Hinweis:** Im Rahmen der Projektbearbeitung wurde eine Auswahl von „Projekthelmen“ untersucht. Bereits an dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass an keiner Stelle des Berichtes die wiedergegebene Reihenfolge der Benennung von Projekthelmen oder helmspezifische Ergebnismitteilungen – gleichgültig mit welchem Beurteilungsinhalt – im Sinne einer „Helmrangliste“ oder gar im Sinne eines Helmtests verstanden werden dürfen.

Alle Ergebnisse und Ergebnisbewertungen dienen ausschließlich der wissenschaftlichen Erarbeitung von grundsätzlichen Aussagen bezüglich der Fragestellungen des vorliegenden Projektes der Bundesanstalt für Straßenwesen.

Nachdruck, auch auszugsweise, sowie fototechnische und / oder elektronische Wiedergabe nur mit schriftlicher Genehmigung der Autoren und der Bundesanstalt für Straßenwesen. Insbesondere dürfen Inhalte dieses Berichts nicht zu Werbezwecken genutzt werden.

### 1.1 Aufgabenstellung

Motorradfahren stellt an sich durch komplexe Regelungsaufgaben im System Mensch-Maschine-Umwelt bereits hohe Anforderungen an den Fahrer.

Je nach Fahrsituation und Fahrgeschwindigkeit können Einflussgrößen wie Strömungseffekte, dynamische Haltekräfte, unzulängliche Belüftung sowie Lärmpegel und Frequenzspektrum der Helme die Fahrer, insbesondere deren Gehör und Halsmuskulatur, unterschiedlich stark belasten.

Demgegenüber ist die nachhaltige Erhaltung von Konzentration und Kondition wesentlich für die aktive Fahr- und Verkehrssicherheit von Motorrädern aller Art.

Derzeitige Schutzhelme bieten ein untersuchenswertes Verbesserungspotential bzgl. der aeroakustischen, aerodynamischen und innenklimatischen Helmeigenschaften, dessen Identifizierung einen wesentlichen Beitrag zur Erhaltung der Fahrtüchtigkeit und somit der aktiven Fahr- und Verkehrssicherheit erbringen kann. Hierbei ist zu beachten, dass ein spezifischer Informationsfluss (z. B. akustische Zeichen wie Sondersignale) aus dem Verkehrsumfeld sichergestellt sein muss (§ 23 StVO).

Durch systematische Untersuchungen einer projektdienlichen Auswahl von Motorradschutzhelmen werden beurteilungsrelevante Einflussgrößen an Versuchspersonen / Projektfahrern und an aeroakustischen Messpuppen und Kraftmessrobotern sowohl im Labor (Windkanal) als auch bei Versuchsfahrten gemessen, aufgezeichnet und zu einer Bewertung analysiert.

Hierbei erfolgt, soweit möglich, die messtechnische Erfassung und Dokumentation physikalischer Größen (Geschwindigkeiten, Kräfte, Schalldruck im Innenohr, Helminnentemperaturen) sowie psycho-physische Leistungs- und Befindlichkeitsparameter (Pulsfrequenz, Muskeltonus, elektrodermale Aktivität) unter Einsatz einer mobilen achtkanaligen Messkette

zur Erfassung und Speicherung der o.g. individuellen physiologischen Parameter. Begleitend werden subjektive Feststellungen und Befindlichkeiten protokolliert und ausgewertet. Mit Hilfe der Ergebnisse dieser Untersuchungen soll ein Anforderungskatalog formuliert werden mit der Zielsetzung, einen Beitrag zur Optimierung zukünftiger Motorradsschutzhelme - insbesondere hinsichtlich Geräuschverhalten, Belüftung und Aerodynamik - zu erarbeiten, und somit die Sicherheit des Motorradfahrens zu erhöhen.

#### Keywords:

Persönliche Schutzausrüstung, Schutzhelme, aktive Sicherheit, Verkehrssicherheit, Motorradsicherheit, Komfort, Motorradfahrer, Kradfahrer, Aerodynamik, Aeroakustik, Belüftung, Lärmpegel, Geräusch, Strömung, Temperatur, psychophysiologische Messungen.



Abbildung 1-1: Kooperierende Untersuchungsteams zu BASt FE 82.0271/2004 (Rechtsmedizin/TBU, HD; Schubert Engineering, Braunschweig)

## 1.2 Anmerkungen zur Projektdurchführung

### 1.2.1 Ausgangslage und vorhandene Erkenntnisse

Am Institut für Rechtsmedizin und Verkehrsmedizin Heidelberg werden vom Fachgebiet Technologische Biomechanik und Unfallforschung – TBU (früher: Unfallforschung und Biomechanik) seit 1979 Projekte der Motorradunfallforschung zur Erhöhung der passiven und aktiven Sicherheit beim Motorradfahren bearbeitet. Hierbei waren in der Vergangenheit lange Zeit Untersuchungen zu Motorradschutzhelmen und Schutzkleidung als Elemente der persönlichen Schutzausrüstung von besonderem Interesse.

In diesem Zusammenhang wurde u. a. auch das BASt-Projekt "Wirksamkeit von Elementen des passiven Unfallschutzes / Schutzhelme für motorisierte Zweiradfahrer" (1985), Band 3, Forschungsheft 114 bearbeitet.

Insgesamt wurden bis heute über 1440 Motorradunfälle und weit über 1000 unfallbeanspruchte Schutzhelme einschließlich der verbundenen Schädelhirntraumata untersucht.

In Zusammenarbeit mit verschiedenen Helmherstellern aus Deutschland, Italien und der Schweiz wurden kollisionsanalytisch und experimentell begründete Schutzhelmverbesserungen (passive und aktive Helmsicherheit) erarbeitet.

Seit 1981 erfolgte fachliche Beratung und Mitarbeit beim DIN, NPS, Berlin und bei nahezu allen Motorrad-Helmtests der Motorrad-Printpresse (z. B. Zeitschrift Motorrad Heft 7/1981 und 8/1985 (Mauer, Herwig) ff).

Bereits beim Helmtest 1985, veröffentlicht in der genannten Literaturstelle wurde durch entsprechende Geräuschmessungen unter dem Helm am Innenohr erkennbar, dass Motorradfahrer bei der Benutzung bestimmter Helme bei höheren und hohen Geschwindigkeiten (ab ca. 150 km/h) kritischen, möglicherweise sogar gehörschädigenden Schalldruckpegeln ausgesetzt waren; so wurden bei Geschwindigkeiten von 180 km/h Werte von bis zu 120 dB(A) gemessen.

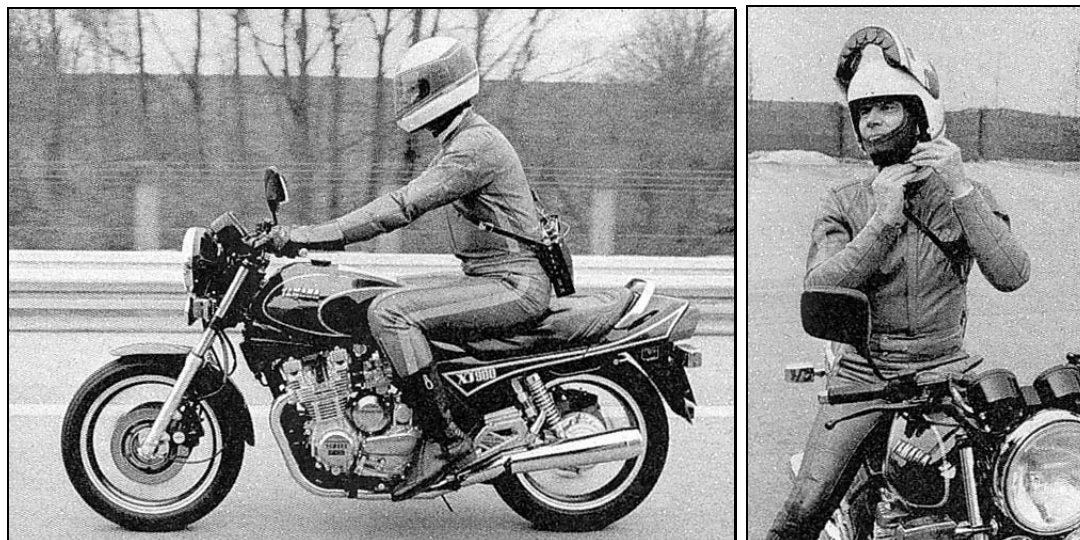


Abbildung 1-2: Versuche mit Geräuschmessungen unter Schutzhelm (Z. Motorrad 1985)

Biomechanische Versuche mit Schutzhelmen wurden u. a. auch bereits 1982 im Rahmen des KOP-Projektes "Dynamic fronto-occipital head loading of helmet protected cadavers" (Proc. EU/ CEC-Seminar "Biomechanics of impacts in road accidents", Brussels (3/83), S. 210-227) am hiesigen Institut durchgeführt.

Während Forschungsarbeiten zum passiven Unfallschutz (Verletzungsvermeidung, Verletzungsverminderung) bis etwa 1995 in Heidelberg einen Schwerpunkt bildeten, begannen zu diesem Zeitpunkt (ähnlich wie bei der Industrie) mehr und mehr Forschungsaktivitäten zur aktiven Verkehrssicherheit und Unfallvermeidung.

In entsprechenden Untersuchungen wurden in letzter Zeit am Fachgebiet z. B. Systeme der passiven und aktiven Fahrzeugsicherheit mittels systematischer Fahrversuche mit Pkw unter Erfassung psychophysiologischer Leistungs- und Befindlichkeitsparameter durchgeführt.

Vorhandene Erkenntnisse ergeben sich somit aus der oben genannten historischen Entwicklung des Fachgebietes, insbesondere der ständigen Wissenserweiterung bzgl. Motorradschutzhelmen (einschließlich vorhandener Fachliteratur) und dem fortlaufenden Fachdialog in Theorie, Praxis und Rechtssprechung.

Alle an der Projektbearbeitung beteiligten Mitarbeiter des Fachgebietes konnten ihre Erfahrungen als aktive Motorradfahrer einbringen.



### 1.2.2 Randbedingungen

#### *Projekthelme*

Unterstützung erfolgte dadurch, dass die meisten Helmhersteller bzw. Vertreiber, die ausgewählte Schutzhelme kostengünstig oder unentgeltlich zur Verfügung stellten.

#### *Projektmotorrad*

Die Firma Suzuki International Europe GmbH, Bensheim unterstützte die Projektbearbeitung durch Bereitstellung von Motorrädern, insbesondere des Typs GSF 650 A – Bandit, unverkleidet, mit ABS.

#### *Schutzkleidung*

Zur Gewährleistung einheitlicher Versuchsbedingungen und einer höchstmöglichen Sicherheit für die Versuchspersonen, insbesondere in deren Funktion als Projektfahrer, wurde auf die Beschaffung einer qualitativ hochwertigen Schutzausrüstung besonderer Wert gelegt.

Schließlich wurden Protech und Promaxine Motorradjacken sowie Protech Schutzhosen der Fa. Rukka in verschiedenen Größen ausgewählt und beschafft.

Bei der Beschaffung der persönlichen Schutzausrüstung wurde *TBU* von der Firma Rukka in Form einer kulanten Preisgestaltung unterstützt.

Eine Unterstützung der Projektarbeit erfolgte auch von Seiten der Firma UVEX, Fürth in Form der Beistellung der ausgewählten Schutzhelme, Schutzbrillen sowie drei Motorrad-schutzjacken.

## 2 LITERATUR- UND PATENTRECHERCHE

Bezüglich des Themas „Anforderungen an Helme für Motorradfahrer zur Motorradsicherheit“ wird aus der am Fachgebiet einschlägig vorhandenen und zu beschaffenden Literatur einschließlich zugehöriger Normen und Regelwerke mit verbundenen Dokumenten ein Überblick zum Thema erarbeitet.

Die Literaturrecherche vollzieht sich in fünf Phasen:

- Phase I: Sichtung der am Fachgebiet und in der Institutsbibliothek vorhandenen Literatur.
- Phase II: Recherche in den Katalogen der Universitätsbibliothek Heidelberg.
- Phase III: Abfrage der zugänglichen internationalen Literaturdatenbanken. Gesucht wurde in den bibliographischen Datenbanken, Medline Advanced (medizinische Datenbank), Pubmed (medizinische Datenbank), Science Citation Index (fachübergreifende Datenbank) und Web of Science (fachübergreifende Datenbank). Ferner wurde in „vascoda.de“, einem interdisziplinären Internetportal für wissenschaftliche Information in Deutschland, gesucht.
- Phase IV „freie Internetrecherche“ in verschiedenen Suchmaschinen.
- Phase V: Patentrecherche im Deutschen Patent- und Markenamt über DEPATISnet

Weiterhin wurde die Homepage der World Health Organisation (WHO) - Helmet Initiative ([www.whohelmets.org](http://www.whohelmets.org)) gesichtet und ausgewertet. Die WHO-Helminitiative wurde 1991 zur weltweiten Unterstützung des Einsatzes von Motorrad- und Fahrradschutzhelmen ins Leben gerufen und dient als Informationsquelle für Schutzhelme und ihren Gebrauch. Gleichzeitig unterhält sie ein Beziehungsnetz zu öffentlichen Sicherheits- und Gesundheitsorganisationen sowie zu NGO's (Non Governmental Organizations; Nichtregierungsorganisationen), um den Gebrauch von Schutzhelmen mit Hilfe folgender 5 Strategien zu fördern:

1. Die WHO-Helminitiative erhält eine aktualisierte Online-Publikationsübersicht (mit 278 Literaturstellen, Stand Dezember 2005) zum Thema Motorrad und Fahrradschutzhelme sowie zu deren Design, Effektivität und Verbreitungsstrategien aufrecht.
2. Sie dient als Kommunikationsforum in Form einer Website inklusive weiterführender Links zum Thema Schutzhelme, zu relevanter Literatur sowie zu wichtigen Organisationen. Letzte Neuigkeiten werden in einem vierteljährlich erscheinenden Magazin publiziert.
3. Sie entwickelt und etabliert ein internationales Netzwerk von kooperierenden Programmen zur Stärkung der Schutzhelmverbreitung (z.B. Bicycle Helmet Initiative Trust seit 1994).
4. Sie stellt Unterstützung hinsichtlich Schutzhelminformation per email zur Verfügung.
5. Sie bietet Unterstützung bei Forschungsarbeiten, v. a. für den Einsatz von Helmen in tropischen Ländern.

Ansprechperson der WHO Helmet Initiative ist Dr. Philip L. Graitcer (email: [info@whohelmets.org](mailto:info@whohelmets.org)). Aus dieser Quelle ergaben sich jedoch keine neuen für das Projekt dienliche Informationen.

Ein weiteres gerade angelaufenes Projekt, welches sich direkt mit Fragen der aktiven Helmsicherheit beschäftigt, ist das COST 357 PROHELM Projekt. Das Projekt hat eine Laufzeit von vier Jahren (2005 bis 2009) und wird von Forschungseinrichtungen aus verschiedenen europäischen Ländern gemeinsam bearbeitet.

Die COST „**CO**operation in the field of **S**cientific and **T**echnical Research“ Organisation wurde 1971 als interstaatliches europäisches Netzwerk zur Koordination und Förderung von national finanzierten europäischen Forschungsprojekten gegründet. COST benennt für die ko-

ordinierten nationalen Fördermittel eine Größenordnung von schätzungsweise 2 Milliarden Euro pro Jahr. Institutionen aus 56 Ländern arbeiten bei COST zusammen. Weitere Informationen sind im Internet unter <http://www.cost.esf.org> zu finden.

Die Laufzeit des COST 357 „Accident **P**revention **O**ptions with Motorcycle **H**elmets“ (PROHELM) Projektes beträgt 4 Jahre (Juli 2005 bis Juli 2009) und ist eine Weiterführung bzw. eine Ergänzung des COST Projektes 327 (ESF „Fondation européenne de la science“), Motorcycle Safety Helmets (Impact Properties).

Die Inhalte des PROHELM Projekts werden wie folgt beschrieben: „Zusammenfassend geht es in diesem Projekt darum zu verstehen, wie die kognitiven Fähigkeiten des Motorradfahrers durch die Helmkonstruktion beeinflusst werden und wie die kognitiven Fähigkeiten der andern Verkehrsteilnehmer beeinflusst werden könnten. Insbesondere sollen die Aspekte von Motorradfahrerhelmen parametrisiert werden, damit sie gemessen werden können. Dies ist die erste Anstrengung die unternommen wird, Wissenschaftlern mit dem notwendigen breiten Hintergrund, das Studium der Komplexität der Zusammenhänge zu ermöglichen. Die Anzahl der Mitgliedsländer erlaubt es den Teilnehmern, gleichzeitig von der Vielfalt der geografischen und klimatischen Bedingungen zu profitieren.“

Im Einzelnen werden die Untersuchungsschwerpunkte: Thermophysiology des Kopfes (Head thermophysiology), CO<sub>2</sub> und O<sub>2</sub> Konzentrationen im Helm, Lärm im Helm (Noise), Helm Belüftung (Helmet ventilation), Sicht (Vision) sowie die Wahrnehmbarkeit des Motorradfahrers im Straßenverkehr (Conspicuity) untersucht.

Der Vorsitz des PROHELM Projektes führt Paul Brühwiler (Eidgenössische Material Prüfanstalt, CH). Das Gesamtprojekt wurde auf vier Arbeitsgruppen mit den nachfolgend dargestellten Vorsitzenden und Aufgabenbereichen aufgeteilt.

WG1, Chair Dietmar Otte (D); WG2, Chair Hilde Færevik, SINTEF (N); WG3, Chair Duncan Webb, HSL (GB); WG4, Chair David Shinar, Ben Gurion Univers. (Israel)

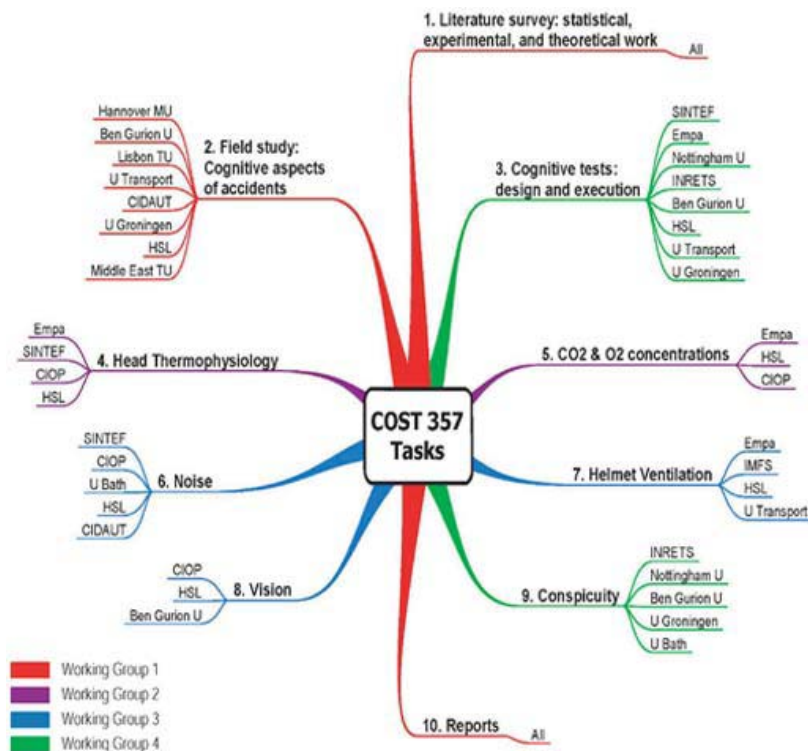


Abbildung 2-1: COST 357 - PROHELM - Projekt, Projektaufbau

Weitere Informationen zu dem oben beschriebenen Projekt sind im Internet unter <http://www.cost357.org> zu entnehmen. Sachstandsberichte sind derzeit noch nicht erhältlich.

## 2.1 Literaturrecherche

Insgesamt wurden 106 Literaturstellen zum Thema aktive Helmsicherheit gefunden und zum größten Teil per Fernleihe beschafft. Einige Quellen waren direkt zugänglich, z. B. wenn die Zeitschrift von der Elektronischen Zeitschriftenbibliothek Heidelberg lizenziert wurde. Der größere Teil der Literaturstellen musste jedoch bei den Autoren bzw. den Herausgebern angefordert werden.

Die Literaturstellen wurden bezüglich ihres Informationsgehalts zur aktiven Helmsicherheit ausgewertet. Die wichtigsten Erkenntnisse zu den Gebieten Aeroakustik und Wahrnehmbarkeit von akustischen Warnsignalen, Aerodynamik, Temperatur und Belüftung sowie der Kohlendioxidkonzentration in Helmen sind den nachfolgenden Kapiteln zu entnehmen.

In keiner hier vorliegenden Untersuchung ist das Thema der „Auffälligkeit“ des Motorradfahrers bzw. des Helmes thematisiert, obwohl ein Großteil von Motorradunfällen darauf zurückzuführen ist, dass Motorradfahrer aufgrund ihrer schmalen Silhouette oftmals übersehen werden.

In den nachfolgenden Kapiteln werden die Ergebnisse der Literaturlauswertung im Einzelnen dargestellt.

### 2.1.1 Aeroakustik

Der Einfluss des aerodynamisch bedingten Geräuschpegels am Ohr von Motorradfahrern auf das Reaktions- und Hörvermögen im Straßenverkehr sowie dessen Stresseffekt wurden seit den 70er Jahren in vielen Studien thematisiert und problematisiert. Hierbei spielt der Faktor Motorradschutzhelm eine wesentliche Rolle als ein Hauptaspekt der aktiven Sicherheit, da er einerseits Geräusch dämpfend wirken soll, um den Motorradfahrer vor einer Hörschwellenverschiebung, vor Hörschäden und schlimmstenfalls vor langfristigem Hörverlust zu schützen, gleichzeitig jedoch damit auch ein gewisses Risiko bezüglich der Hörbarkeit von Warnsignalen im Straßenverkehr wie etwa Hupengeräuschen verbunden ist.

Dieser Zielkonflikt zwischen gesundheitsprophylaktischer Geräuschdämpfung sowie den daraus folgenden geforderten Lärmexpositionsstandards – insbesondere für beruflich bedingt Motorradfahrende – einerseits und der z. T. festgestellten Lokalisationsunschärfe von Schallquellen andererseits, ist bei der Gestaltung von Schutzhelmen zu berücksichtigen.

Hatte Harrison R. (1974) schon in den 70er Jahren beim Vergleich von Geräuschpegeln am Ohr, die mit und ohne Helm gemessen wurden, mit Ausnahme der Messungen bei sehr hohen Geschwindigkeiten nur eine geringe Geräuschdämpfung durch alle von ihm untersuchten Helme festgestellt, so führten z. B. Aldman B. et al. (1981 und 1983) in den 80er Jahren Studien fort, die sich insbesondere mit dem Sicherheitsaspekt hinsichtlich des Überhörens von Warnsignalen beschäftigten.

Ergebnisse dieser Studien zeigten, dass das Risiko eines Hörschadens durch Motorradfahren erst dann zu erwarten wäre, wenn ein Fahrer über Jahre hinweg mehrere Stunden am Tag einer Geschwindigkeit von 100 km/h exponiert wäre, wie das bspw. bei professionellen Rennfahrern der Fall ist (vgl. Mc Combe A. & Binnington J. 1994). Akustische Warnsignale waren allerdings aufgrund von Motorengeräusch und aerodynamisch bedingtem Geräuschpegel nur bei niedrigen Geschwindigkeiten hörbar. Die durch den Schutzhelm erreichte gemessene Geräuschminderung betrug bei Integralhelmen 5 dB(A), bei Jethelmen 2 dB(A), woraus errechnet wurde, dass unter den gegebenen Umständen ein Hupengeräusch bei 70 km/h auf einer Distanz von 7 m schon nicht mehr gehört werden konnte.

Hüttenbrink K.B. (1982) konnte bei Fahrversuchen auf einem Testgelände bei einer Geschwindigkeit von 140 km/h sogar einen Schalldruckpegel von 110 dB(A) am Ohr des Motorradfahrers messen.

Diese Ergebnisse gaben Hinweise darauf, dass beim Motorradfahren sehr hohe Lärmpegel innerhalb des Schutzhelmes entstehen und regten weitere Untersuchungen in den 90er Jahren an, die Methoden der Geräuschdämpfung und Fragen der Effizienz von Ohrstöpseln, Ohrenschützern oder Windabweisern am Helm nachgingen.

Mc Combe untersuchte (1992) die Hörfähigkeit von 106 Motorradfahrern, darunter Motorradpolizisten, Professionelle Grand- Prix Fahrer aber auch Freizeitfahrer, mit einem Durchschnittsalter von 30 Jahren und mindestens 10 Jahren Motorradfahrerfahrung. Dabei wurden bei 46% der Personen Gehörschäden (sensorinaural hearing loss consistent with noise damage) festgestellt. Vorangegangene Gehörschäden bzw. Lärmexpositionen wurden ausgeschlossen.

Mc Combe A.W. et al. (1993) testeten drei Typen von Ohrstöpseln und konnten eine Geräuschkürzung von ca. 15 dB bei tiefen Frequenzen von 250, 500 und 1000 Hz bewirken. Nach einer Stunde Motorradfahren bei 80 mph hatten Fahrer eine mittlere vorübergehende Hörschwellenverschiebung von 11 dB, die durch das Tragen von Ohrstöpseln verhindert werden konnte.

In einer Publikation der „British Tinnitus Association“ bewertet Mc Combe (2005) die nachgenannten Schalldruckpegel folgendermaßen. So sei der Schalldruckpegel von 85 bis 90 dB(A) schon in einem Bereich in dem Gehörschäden entstehen können „a potentially damaging amount“. Bei 160 km/h liege der Schalldruckpegel bei 110 dB(A), dieser Pegel sei jedoch nur für drei Minuten unbedenklich „safe for only about 3 minutes“.

Zu ähnlichen Ergebnissen kommt auch Ross (1989) der ab einem Schalldruckpegel von 90 dB(A) Gehörschutz empfiehlt „Persons exposed to more than 90 dB(A) should wear ear protectors until the noise levels can be reduced.“

Berge W. (1992) schlug ein Verfahren zum Absenken des Lärmpegels vor, das sich durch das Aufblasen von im Helm angebrachten Kissen kennzeichnet, die gegen die Ohren des Helmträgers gedrückt werden und besonders beim Übergang von niedrigen zu hohen Geschwindigkeiten eine Kompromisslösung erlaubt, da es zum einen die Wahrnehmung von Verkehrssignalen bei niedrigen Geschwindigkeiten, zum anderen eine hohe Geräuschkürzung bei hohen Geschwindigkeiten gewährleistet.

Weitere Maßnahmen ergriffen Lower M.C. et al. (1994 und 1996), die Lärmmessungen im Windkanal und im Straßenverkehr unternahmen, um sie zu quantifizieren und Lärmquellen und -wege zu identifizieren. Sie stellten fest, dass der Lärmpegel mit steigender Geschwindigkeit dergestalt wächst, dass ab ca. 70 km/h der aerodynamisch generierte Lärm den durch das Motorrad entstandene übersteigt. Der Lärmpegel unter dem Helm variierte bei Geschwindigkeiten von 80–115 km/h zwischen Werten von 90–109 dB(A), die bei gleicher Geschwindigkeit und gleichem Motorrad je nach Schutzhelm Schwankungen von bis zu 7–10 dB(A) zeigten.

Als einen wichtigen determinierenden Faktor für die Entstehung von Lärm identifizierten sie das Design des Windschutzschildes, seine Höhe und Winkelstellung. Turbulenzen, die vom Rand der Windschutzscheibe ausgehen und auf den Helm im Bereich zwischen Hals und Visier treffen, zeigten sich als eine der Hauptquellen für Lärm.

Durch Helmmodifizierungen, eine verbesserte Abdichtung des Bereichs zwischen Hals und Helm, Änderungen am Visier, die Ersetzung der Scharniere durch Schaumgummi konnte jeweils eine gewisse Lärmreduktion erreicht werden. Der niedrigste Lärmwert am Ohr wurde jedoch unter Einsatz von Ohrstöpseln und eines Helms mit eingebauten Lärm reduzierenden Ohrenschützern gemessen, womit Lärmpegel bei 80–115 km/h auf Werte zwischen 70–87 dB(A) herabgesenkt werden konnten.

Neueste Studien problematisieren immer mehr die Geräuscheinwirkung, der berufsbedingt Motorrad fahrende Personengruppen ausgesetzt sind. Die Werte der täglichen Lärmaussetzung reichen in einer Studie von Jordan C. et al. (2004) von 90 dB(A) zu 103 dB(A). Lower M. (2003) vergleicht Windkanalmessungen mit Messungen im Straßenverkehr und resümiert, dass Polizisten bei der Arbeit einer täglichen Lärmeinwirkung von mehr als 90 dB(A) exponiert sein können.

### 2.1.1.1 Wahrnehmbarkeit akustischer Warnsignale

In § 23 Abs. (1) der Straßenverkehrsordnung wird von Fahrzeugführern verlangt, dass die Wahrnehmung von akustischen Eindrücken aus dem Verkehrsumfeld nicht beeinträchtigt ist. Eine ähnlich lautende Forderung ist auch in Abschnitt 6.5 der Regelung der Economic Commission for Europe für Kraftfahrzeuge und ihre Anhänger Nr. 22 (ECE-R 22.05) zu finden. Hierin wird gefordert, dass der Helm das Hörvermögen des Benutzers nicht in gefährlicher Weise beeinträchtigen darf.

Als besonders wichtige akustische Informationen sind hierbei die Einsatzhörner der mit Sonderrechten nach § 35 StVO ausgestatteten Organe anzusehen. Nach DIN 14610, Ausgabe:1981-03, „Akustische Warneinrichtungen für bevorrechtigte Wegebenutzer“ müssen diese Warnsignale in 3,5 Meter Entfernung von der Schallquelle einen Mindestschallpegel von 110 dB(A) aufweisen. Weiterhin muss nach § 22a StVZO und der damit verbundenen Technischen Anforderung (TA Nr. 32, Ziffer 9) die Grundfrequenz der zwei durch das Einsatzhorn erzeugten Klänge zwischen 360 Hz und 630 Hz liegen (die Grundfrequenzen der beiden Klänge müssen im Verhältnis 1:1,333 stehen).

An privaten Kraftfahrzeugen dürfen nach StVZO § 55 Abs. (2) Hupen und Hörner als Einrichtungen für Schallzeichen angebracht sein, deren in sieben Meter vom Fahrzeug gemessene Lautstärke den Wert von 105 dB(A) nicht übersteigen darf.

Zur Wahrnehmbarkeit von akustischen Warnsignalen durch behelmte und unbehelmte Motorradfahrer wurden in den vergangenen Jahren zahlreiche Untersuchungen durchgeführt. Ein besonderes Augenmerk galt in diesen Untersuchungen der Wahrnehmbarkeit von Einsatzhörnern von Institutionen wie Polizei, Feuerwehr oder Rettungsdiensten.

Bezüglich der Wahrnehmbarkeit von akustischen Warnsignalen stellen Van Moorhem (1981) sowie Mc Knight und Mc Knight (1995) übereinstimmend fest, dass diese durch das Tragen von Motorradhelmen nicht nachteilig beeinflusst wird, ein Helm verbessert sogar die Wahrnehmung solcher Signale im Vergleich zum Fahren ohne Helm (Binnington, 1993).

Bei höheren Geschwindigkeiten und Schalldruckpegeln über 90 dB(A) können Warnsignale bei Benutzung von Ohrstöpseln besser wahrgenommen werden als ohne zusätzlichen Gehörschutz unter dem Helm (Mc Combe, 2005). Auch Heyl (1993) stellt fest, dass aeroakustisch modifizierte Helme, die Wahrnehmung von Warnsignalen verbessern, da das Windrauschen stärker gedämpft wird als das Sirensignal.

Eine an der Bergische Universität Wuppertal am Fachbereich Elektrotechnik, Informationstechnik, Medientechnik verfasste Semesterarbeit (Schäfer) kommt bezüglich der Wahrnehmbarkeit von akustischen Warnsignalen unter Motorradhelmen zu dem Schluss, dass die Geräuschkämpfung von Motorradhelmen sehr gering ist. Die gedämpften Frequenzen lagen hauptsächlich im Bereich bis zu 300 Hz. Die Frequenzen der Einsatzhörner liegen zwischen 360 und 630 Hz also über dem „dämpfungsaktiven Bereich“ von Motorradhelmen.

Bezüglich der Lokalisation von Schallquellen stellen Krebber W. & Kielmann G. (1997) in zwei Versuchsreihen fest, dass das Tragen eines Integralhelms (Versuche mit stehendem Motorrad) zu einer beträchtlichen Lokalisationsunschärfe in Form von häufigen Vorne-Hinten-Vertauschungen führt.

Aus diesen Untersuchungen ergibt es sich, dass aerodynamisch optimierte und somit leisere Helme die Wahrnehmbarkeit von Warnsignalen noch verbessern würden. Auf der anderen Seite hat nach den bekannten Untersuchungen auch eine bessere Geräuschkämpfung des Helmes bzw. das Benutzen von Ohrstöpseln keinen negativen Einfluss auf die Wahrnehmung von Warnsignalen, und somit auf die aktive Sicherheit.

In der uns vorliegenden Literatur sind bis auf die erwähnten „Vorne - Hinten Vertauschungen“ keine nachteiligen Eigenschaften hinsichtlich der Wahrnehmbarkeit von akustischen Signalen unter Motorradhelmen beschrieben; weiterhin kann die Verwendung von Ohrstöpseln diese sogar noch verbessern.

### 2.1.1.2 Lärmgrenzwerte

Die Beurteilung von Schalldruckpegeln bezüglich der gesundheitlichen Auswirkungen auf den Menschen ist Thema zahlreicher wissenschaftlicher Publikationen, Bestimmungen und Gesetzen wie z. B. der Unfallverhütungsvorschrift Lärm (BGV B3), der Arbeitsstättenverordnung oder dem Mutterschutzgesetz.

Der Mensch kann Frequenzen zwischen 20 und ca. 16000 Hz wahrnehmen, der Schallpegelbereich (bei Tonhöhe 1000 Hz) liegt zwischen 0 und 140 dB. Bei ca. 4000 Hz hat das gesunde Ohr seinen empfindlichsten Bereich.

Schalldruckpegelunterschiede sonst gleichartiger Geräusche im Bereich über 40 dB werden folgende Lautheitseindrücke zugrunde gelegt: Werte von 1 dB sind kaum wahrnehmbar, deutlich wahrnehmbar sind Schalldruckpegelunterschiede von 3 dB, Schalldruckpegelunterschiede von 10 dB werden als Verdopplung der Lautstärke wahrgenommen (eine Pegelerhöhung um 10 dB entspricht 10 gleichlauten Geräuschquellen im Vergleich zu einer (Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 2003)

Zum Zusammenhang von Schalldruckpegel und Expositionszeit (Petzold und Klemm, 2001) ist festzuhalten, dass „eine Erhöhung des Pegels um 3 dB einer Verdoppelung der Gehörfähigung entspricht: z. B. bedeutet eine Dauerbelastung mit 90 dB(A) über 8 Stunden die gleiche Hörfähigung wie eine Belastung mit 96 dB(A) über 2 Stunden, mit 111dB(A) über 3:45 min oder mit 120 dB(A) über 28 sec. Das Risiko einer Innenohrschädigung durch Lärmeinwirkung wächst mit dem Pegel und der Expositionsdauer der Lärmbelastung“ (Bundesärztekammer 1999).

Die physischen Auswirkungen von Lärm sind, bei „kurzer Einwirkung sehr lauter Geräusche wie z. B. Knalle“ bzw. lang dauernden Schalldruckpegeln über 85 – 90 dB(A) eine vorübergehende Hörschwellenverschiebung (TTS = temporary threshold shift), diese bildet sich jedoch in einer nachfolgenden lärmfreien Phase (Schalldruckpegel unter 75 dB(A)) wieder vollständig zurück.

Demgegenüber führen lang andauernde Schalldruckpegel von ca. 80 bis 85 dB(A) (wie z. B. von Walkman, Disko oder Heimwerkergeräten) mit langjähriger Exposition zu bleibenden Hörschwellenverschiebungen (Schwerhörigkeit) bzw. zur Vertäubung (PTS = permanent threshold shift) (Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 2003 und [www.dalaerm.de/wett201/wb002/traumen.htm](http://www.dalaerm.de/wett201/wb002/traumen.htm)). Für die chronische Lärmschwerhörigkeit gibt es derzeit keine Therapie. Lediglich ein vorbeugender Lärmschutz kann einer Schädigung des Gehörs entgegenwirken.

Als Schmerzschwelle gelten 120 dB(A), Gehörschäden sind hier schon bei kurzer Einwirkung möglich (siehe Abbildung 2-2).

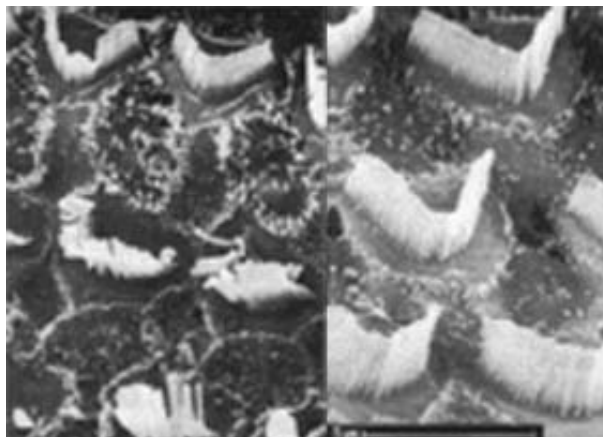


Abbildung 2-2: Zilien der äußeren Haarzellen, links geschädigt, rechts intakt  
Quelle: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 2003

Die untenstehende Abbildung 2-3 zeigt verschiedene Schalldruckpegelbereiche sowie deren Schädigungspotential für den Menschen.

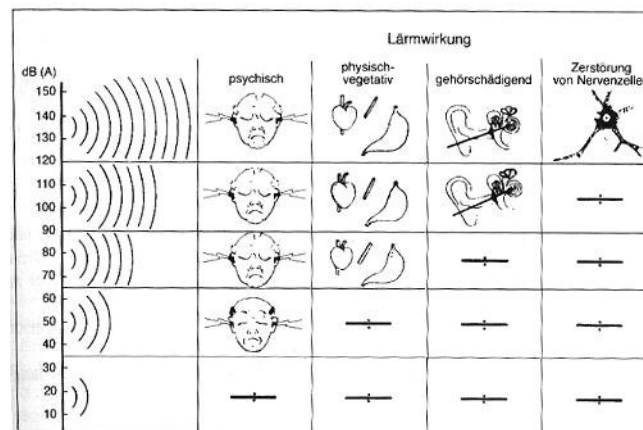


Abbildung 2-3: Wirkungen des Lärms auf den Menschen

Quelle: [www.dalaerm.de/wett201/wb002/traumen.htm](http://www.dalaerm.de/wett201/wb002/traumen.htm) (nach Griefhan, B.: Audiometrie. Enke, Stuttgart 1998)

Viele Studien stellen weiterhin die psychischen Folgewirkungen von Lärm in den Vordergrund. Im Fachausschuss Informationsblatt Nr. 018, Ausgabe 10/2005; Fachinformation „Lärm-Stress am Arbeitsplatz“ werden unter anderem folgende Wirkungen von Lärm auf den menschlichen Organismus beschrieben:

Als psycho-soziale Wirkungen werden u. a. Konzentrationsbeeinträchtigung, Anspannung, Nervosität sowie Reizbarkeit und Aggressivität genannt.

Physiologische und vegetative Reaktionen sind die vermehrte Ausschüttung der Stresshormone Adrenalin, Noradrenalin und Cortisol, die Veränderung der Herzschlagfrequenz und Steigerung des Blutdrucks, Erhöhung des Muskeltonus, Beeinträchtigung des räumlichen Sehens, Gesichtsfeldeinengung und die verzögerte Signalverarbeitung im Gehirn.

Weiterhin bewirkt Lärm eine erhöhte Unfallgefahr durch die Herabsetzung der Aufmerksamkeit und Konzentration, eine erhöhte Fehlerquote, die Verlangsamung von Denkprozessen, die Erhöhung der Risikobereitschaft sowie die Verminderung des Handgeschicks und der Reaktion.

Eine kurze Zusammenfassung weiterer Veröffentlichungen zu Thema Lärm und Gehörschädigungen wird nachfolgend wiedergegeben:

Weitere Veröffentlichungen zum Thema Lärmpegel und Gehörschädigungen:

(Bundesärztekammer – Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats, Gehörschäden durch Lärmbelastung in der Freizeit, 1999)

„Das Risiko einer Innenohrschädigung wächst mit dem Pegel und der Expositionsdauer der Lärmbelastung. Ab einem Pegel von 85 dB(A) ist grundsätzlich mit einer Gehörschädigung zu rechnen, bis 89 dB(A) erst nach langen, darüber schon nach kürzeren Einwirkzeiten. Oberhalb 94 dB(A) besteht bereits ein hohes Gehörschadenrisiko. Eine Verdopplung der Expositionsdauer verdoppelt die Gehörgefährdung: eine zweistündige Belastung mit 93 dB(A) beinhaltet die gleiche Gehörgefährdung wie eine vierstündige Belastung mit 90 dB(A). Eine 4,8minütige Belastung mit 105 dB(A), so wie sie in Diskotheken vorkommt, bedeutet die gleiche Gehörgefährdung wie eine achtstündige Belastung mit 85 dB(A).“

*Hörschäden bei Kindern und Jugendlichen*, [www.dalaerm.de](http://www.dalaerm.de) :

„Die Schalldruckpegel, denen man in Diskotheken bzw. beim Walkmanhören ausgesetzt ist, liegen mit bis zu 110 Dezibel weit im Gehörschädigenden Bereich, der bereits bei 85 Dezibel beginnt.“



**Beschluss des 103. Deutschen Ärztetages - Gesundheitliche Folgen von Freizeitlärm:**

„Es wird festgestellt, dass Hörgefährdungen bereits ab 85 dB(A) bestehen. Daher sollten nachfolgende Pegelbegrenzungen festgestellt werden. Bei tragbaren Geräten und Ohrhörern soll der Dauerschalldruckpegel auf 95 dB(A) begrenzt werden, ebenso soll in Diskotheken der Dauerschalldruckpegel auf 90 bis 95 dB(A) begrenzt werden. Bei Kindern unter 14 Jahren soll der Dauerschalldruckpegel auf 80 dB(A) begrenzt werden.“

**Förderungsgemeinschaft Gutes Hören: Meldung 3/2004:**

„120 Dezibel und mehr können das Gehör schon bei kurzer Einwirkung schädigen.“

**Vorschriften zum Thema Lärm**

In Laborversuchen mit Tieren konnte gezeigt werden, dass bei einer beständigen Lärmexposition um 94 dB(A) mit Hörschäden zu rechnen ist (vgl. Catlin F.I. 1986). Daher wurde 1984 durch die OSHA – Occupational Safety and Health Administration – in den USA durchgesetzt, Arbeitgeber zu verpflichten, wahlweise einen Lärmexpositionsstandard für Arbeiter von 90 dB oder weniger zu gewährleisten oder für ausreichenden Gehörschutz zu sorgen.

In Deutschland gilt aktuell nach der Unfallverhütungsvorschrift des BGV, der VDI-Richtlinie 2058 Blatt 2 „Beurteilung von Lärm hinsichtlich Gehörgefährdung“ sowie nach der Arbeitsstättenverordnung (Abschnitt 3.7 des Anhangs zu § 3 Abs. 1 ArbStättV) der personenbezogene Beurteilungspegel von 85 dB(A) am Arbeitsplatz als nicht zu überschreitender Höchstwert. Dieser Wert ist auch in der Richtlinie 2003/10/EG, die bis zum 15. Februar 2006 in nationales Recht umgesetzt werden musste, enthalten.

Der Beurteilungspegel entspricht dem äquivalenten Dauer-Schalldruckpegel der für den Arbeitsplatz kennzeichnenden Geräuschmission bezogen auf eine tägliche Arbeitszeit von 8 Stunden bzw. eine wöchentliche Arbeitszeit von 40 Stunden.

Bleibende Hörminderungen als Vorstufe zu Gehörschäden können auch schon auftreten, wenn der Beurteilungspegel von 85 dB(A) geringfügig unterschritten wird. Bei Einwirkung folgender Schalldruckpegel und Wirkzeiten wird ein Beurteilungspegel von 85 dB(A) bereits erreicht:

- 88 dB(A) – 4 Stunden
- 91 dB(A) – 2 Stunden
- 94 dB(A) – 1 Stunde
- 97 dB(A) – 30 Minuten
- 100 dB(A) – 15 Minuten
- 105 dB(A) – 4,8 Minuten.

Nach der Unfallverhütungsvorschrift BGV B3 ist die zulässige **tägliche Einwirkdauer** von Schalldruckpegeln dB(A), bei der keine Gehörschäden zu erwarten sind, nach folgender Formel zu Berechnen.

$$\boxed{\text{zulässige Einwirkzeit pro Tag} = 480 \times 10^{0,1 \times (85 - L)}}$$

mit: L = einwirkender Schalldruckpegel in dB(A)

Die untenstehende Graphik zeigt die maximal zulässigen täglichen Einwirkdauern gemäß EG Richtlinie „Lärm“ (2003/10/EG).

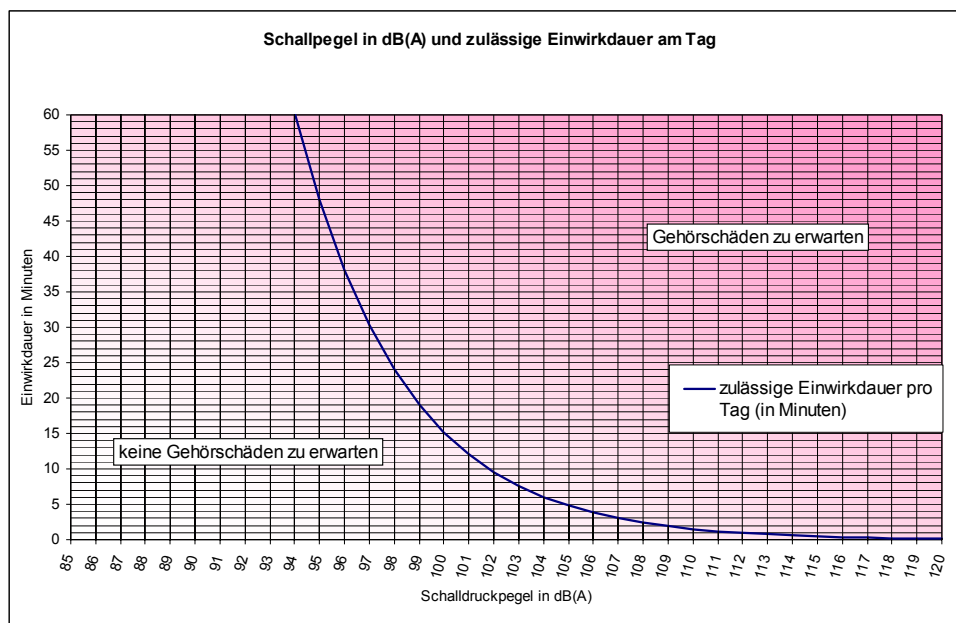


Abbildung 2-4: Schalldruckpegel in dB (A) und zulässige Einwirkdauer am Tag

Quelle zu Abbildung 2-4: Daten der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) Referat 33 - Luftqualität, Lärmschutz.

Über 80 dB(A) müssen gemäß der Richtlinie Gehörschützer angeboten werden, ab 85 dB(A) besteht Tragepflicht. Unter Berücksichtigung der dämmenden Wirkung des Gehörschutzes müssen folgende Grenzen eingehalten werden.

Der über 8 Stunden gemittelte Lärmpegel von 87 dB(A) darf nie überschritten werden. Arbeitsplätze, an denen über 8 Stunden gemittelte Lärmpegel von mehr als 85 dB(A) bzw. Spitzenlärmpegel von 137 dB(C) auftreten, sind als Lärmarbeitsplätze zu kennzeichnen.

So geht man davon aus, dass eine Lärmeinwirkung von mehr als 85 dB(A) als äquivalenter Dauerschalldruckpegel (über 8 Stunden) über viele Arbeitsjahre hinweg geeignet ist, eine Hörschädigung zu verursachen (Zenner, 1999).

Tabelle 2-1 zeigt in Übersicht Schalldruckpegelwerte verschiedener bekannter Schallquellen unserer Umwelt, im Bereich von 0 bis 190 dB(A).

Dezibel (A)	Schalldruckpegelwerte bekannter Schallquellen
<b>Schmerzschwelle; Gehörschäden schon bei kurzer Einwirkdauer möglich</b>	
190	schwere Waffen, etwa 10 m hinter der Waffe (maximaler Pegel)
180	Spielzeugpistole am Ohr abgefeuert (maximaler Pegel)
170	Ohrfeige aufs Ohr, Feuerwerksböller auf der Schulter explodiert, Handfeuerwaffen aus etwa 50 cm Entfernung (alles maximale Pegel)
160	Hammerschlag auf Messingrohr oder Stahlplatte aus 1 m Entfernung, Airbag-Entfaltung in unmittelbarer Nähe (30 cm - alles maximaler Pegel)
150	Hammerschlag in einer Schmiede aus 5 m Entfernung (maximaler Pegel)
130	Lautes Händeklatschen aus 1 m Entfernung (maximaler Pegel)
120	Trillerpfeife aus 1 m Entfernung, Probelauf von Düsenflugzeug in 15 m Entfernung
<b>Gehörschäden bei Einwirkdauer weniger als 40 Stunden pro Woche möglich</b>	
115	Startgeräusche von Flugzeugen in 10 m Entfernung
<b>111</b>	<b>Helm mit höchstem Schalldruckpegel bei 160 km/h</b>
110	Martinshorn aus 10 m Entfernung, häufiger Schalldruckpegel in Diskotheken und in der Nähe von Lautsprechern bei Rockkonzerten, Geige fast am Ohr eines Orchestermusikers (maximaler Pegel)
<b>105</b>	<b>Helm mit höchstem Schalldruckpegel bei 120 km/h</b>
105	Kettensäge aus 1 m Entfernung, knallende Autotür aus 1 m Entfernung (max Pegel), Rennwagen in 40 m Entfernung, möglicher Pegel bei Musik über Kopfhörer
100	häufiger Pegel bei Musik über Kopfhörer, Presslufthammer in 10 m Entfernung
95	Lautes Schreien, Handkreissäge in 1 m Entfernung
<b>91</b>	<b>Helm mit geringstem Schalldruckpegel bei 160 km/h</b>
90	Handschleifgerät im Freien in 1 m Entfernung
<b>87</b>	<b>Helm mit geringstem Schalldruckpegel bei 120 km/h</b>
85	Motorkettensäge in 10 m Entfernung, lauter WC-Druckspüler in 1 m Entfernung
<b>Keine Gehörschäden zu erwarten</b>	
80	Sehr starker Straßenverkehrslärm, vorbei fahrender lärmender LKW in 7,5 m Entfernung, stark befahrene Autobahn in 25 m Entfernung
75	Vorbei fahrender PKW in 7,5 m Entfernung, nicht lärmgeminderter Gartenhäcksler aus 10 m Entfernung
70	Dauerschalldruckpegel an Hauptverkehrsstraße tagsüber, leiser Haartrockner aus 1 m Entfernung zum Ohr
65	Erhöhtes Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen bei dauernder Einwirkung
60	Lärmender Rasenmäher aus 10 m Entfernung
55	Zimmerlautstärke von Radio oder Fernseher aus 1 m Entfernung, lärmender Staubsauger aus 10 m Entfernung
50	Kühlschrank aus 1 m Entfernung, Vogelgezwitscher im Freien aus 15 m Entfernung
45	Übliche Wohngeräusche durch Sprechen oder Radio im Hintergrund
40	Lern- und Konzentrationsstörungen möglich
35	Sehr leiser Zimmerventilator bei geringer Geschwindigkeit aus 1 m Entfernung
25	Atemgeräusche aus 1 m Entfernung
0	Hörschwelle

Tabelle 2-1: Schalldruckpegelwerte bekannter Schallquellen

Quelle: <http://www.sengpielaudio.com>

### 2.1.2 Aerodynamik

Seit den 70er Jahren werden Aspekte der Aerodynamik von Motorradhelmen unter Windkanal- und Feldforschungsbedingungen untersucht, um auf den Kopf von Motorradfahrern wirkende Luftwiderstandskräfte und ihre Auswirkungen zu erfassen. u. a. wurden die Wirkung von am Helm angebrachten windabweisenden Spoilern, Effekte der Helmoberflächenstruktur – etwa nach Art des Golfballs oder in Form von quer zur Strömungseinrichtung stehenden Rippen –, auftretende Rütteleffekte, Auf- und Abtriebskräfte und Kopfhaltkräfte gemessen.

1976 und 1979 beschäftigte sich Van Faassen mit Messungen von beim Motorradfahren wirkenden Widerstandskräften auf den Kopf bzw. mit der Messung von Kopfhaltkräften. In der Untersuchung wurden die Luftwiderstandskräfte (Horizontalkräfte über den Augenbrauen) vier verschiedener Integralhelme im Windkanal unter Verwendung eines mit einem Dehnungsmessfühler (strain gauge force transducer) ausgerüsteten Dummy (50th - TNO 10) gemessen. Hierzu wurde der Dehnungsmessfühler an einem den Dummykopf tragenden Stab angebracht.

Die Versuche wurden bei Geschwindigkeiten von 108 und 144 km/h, jeweils mit geschlossenem bzw. voll geöffnetem Visier durchgeführt. Bei einer Geschwindigkeit von 108 km/h und geschlossenem Visier lagen die gemessenen Kräfte zwischen 23,1 N und 30,4 N, bei geöffnetem Visier stiegen die Kräfte auf Werte zwischen 40,6 N und 110,6 N an. Bei der Maximalgeschwindigkeit von 144 km/h wurden Werte zwischen 31,4 N und 39,6 N (bei geschlossenem Visier) und 56,1 N und 155,1 N (bei vollständig geöffnetem Visier) gemessen.

In einer zweiten Versuchsreihe wurden die „Nackenkkräfte“ bei 14 Frauen und 28 Männern gemessen. An den auf einem Motorrad sitzenden Versuchspersonen wurden die Kräfte gemessen, denen sie maximal widerstehen konnten. Die Kraft (Zugkraft nach dorsal) wurde mittels eines Stirnbandes horizontal über den Augenbrauen eingeleitet. Das Mittel der Reaktionskraft lag bei den Frauen bei 140 N, bei den Männern bei 225 N.

Zusammenfassend kommt die Untersuchung zu der Schlussfolgerung, dass die auftretenden Kräfte beim Fahren mit hohen Geschwindigkeiten und geöffnetem Visier die „Reaktionskräfte“ überschreiten können.“ Besondere Gefahr bestehe, wenn sich das Visier bei hohen Geschwindigkeiten von alleine öffnete.

Bei höheren Geschwindigkeiten kann das Öffnen des Visiers aufgrund der starken Belastung der Halsmuskulatur bei manchen Personengruppen unangenehm und/oder gefährlich sein. Diese Studie gibt Anregungen zu einer Überarbeitung der Mechanik und Funktionsweise von Visieren an Motorradhelmen an.

Ähnliche Untersuchungen der 80er Jahre, u. a. eine Studie von Heyl (1981) beschäftigen sich mit an Helmen auftretenden Windkräften im Windkanal. Heyl brachte einen Dehnmessstreifen an der Halsstange eines Dummy-Kopfes an, mittels der bei 23 Integralhelmen (Visier geschlossen) die nachfolgenden Kraftwerte ermittelt wurden:

Windkräfte bei 120 km/h und Blick geradeaus:	min	15.9 N
	max	21.7 N
Windkräfte bei 180 km/h und Blick geradeaus:	min	35.9 N
	max	48.8 N
Windkräfte bei 180 km/h und 45° seitliche Kopfdrehung:	min	38.0 N
	max	52.0 N

Untersuchungen von Berge (1987) an Motorradhelmen in verschiedenen Windkanälen (Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt, Göttingen; TH – Aachen; TU – München; Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren in Stuttgart) zeigten, dass die Versuchsergebnisse teilweise nicht vergleichbar waren, und dass Helme mit sehr guten  $C_W$ -Werten „zum Motorradfahren nicht geeignet waren.“

Der  $C_W$ -Wert eines Helmes allein könne nichts über die Gebrauchstüchtigkeit und das Fahrverhalten des Helmes aussagen. Vielmehr spielen die Widerstandskraft, die Auftriebskraft, die Seitenkraft und das Nickmoment zur Beurteilung der Helmaerodynamik eine Rolle und dürfen somit nicht außer Betracht bleiben.

So seien bei 180 km/h und Kopfdrehungen von 22,5° Seitenkräfte von 28 N gemessen worden. Dieser Wert sei nicht nur unangenehm beim Fahren, sondern könne auch zu einem Unfall auslösenden Moment beitragen.

Zum Soziusbetrieb merkt der Autor an, dass bei gleicher Größe von Fahrer und Beifahrer stärkere Rüttelkräfte auftreten, als wenn der Beifahrerkopf über den des Fahrers hinausragt. Die Windkanaluntersuchungen hätten somit gezeigt, „dass Helme nicht nur im Windkanal entwickelt werden können, sondern dass es genauso wichtig ist, die Helme auf dem Motorrad, in der Praxis, auf der Straße zu erproben.“

**Anmerkung:**

Der Strömungswiderstandskoeffizient (auch  $C_w$ -Wert) ist eine wesentliche geometrische Einflussgröße für die resultierende Kraft  $F_R$ , die auf einen von Gas umströmten Körper wirkt.

Weitere Parameter sind:

- $\rho$  – Dichte des strömenden Gases (Luftdichte)
- $A$  – projizierte Querschnittsfläche
- $v$  – Strömungsgeschwindigkeit
- $c_w$  – Strömungswiderstandskoeffizient

Der mathematische Zusammenhang zwischen der resultierenden Kraft  $F_R$  und den o. g. Parametern wird wiedergegeben durch die Formel:

$$F_R = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_w \cdot A \cdot v^2$$

Janke, Rothhämel und Schimpf (2005) widmen im Standardwerk „Aerodynamik des Automobils“ ein ganzes Kapitel der Aerodynamik von Schutzhelmen. Hierbei wird sowohl auf Motorradhelme als auch auf Helme für offene Rennfahrzeuge eingegangen.

Auch diese Autoren betonen die Tatsache, dass für eine minimale Luftwiderstandsbelastung eines Motorradfahrers bei hoher Geschwindigkeit nicht nur ein geringer Luftwiderstand entscheidend, sondern in gleichem Maße ein geringer Auftrieb- oder sogar ein leichter Abtriebs-effekt von Vorteil ist. Weiterhin sind geringe Seitenkräfte, ein kleines Giermoment bei Kopfdrehungen sowie die Vermeidung von „Rütteln“ in Form von Nickmomenten und Vibrationen wünschenswert.

Die Autoren machen darauf aufmerksam, dass eine ideale Passform des Helmes durch die gleichmäßige Verteilung der Krafteinleitung auf die gesamte Kopfoberfläche punktuell wirkende Kräfte und Druckstellen verhindert. Im Gegensatz dazu verstärkt ein zu groß ausfallender Helm die Wahrnehmung der Rüttelkräfte und des Auftriebs. Letzter wird in diesem Fall durch den Kinnriemen aufgenommen.

Schließlich fügen die Autoren hinzu, dass der Winkel der Körperneigung des Motorradsassens sowie die Form und Höhe der Windschutzscheibe einen wesentlichen Einfluss auf das aerodynamische Verhalten des Helms ausüben.

### 2.1.3 Temperatur / Belüftung

Eine der Herausforderungen, die es bei der Konstruktion von Motorradhelmen zu überwinden gilt, besteht darin, Anforderungen an eine hohe Stoßdämpfung, die eine eng anliegende, homogene Stoßdämpfungsschicht voraussetzen, mit Anforderungen am Belüftungssystem in Einklang zu bringen, ohne die Qualität der Stoßdämpfung zu mindern bzw. zu gefährden (vgl. hier und im folgenden Janke G., Rothhämel J., Schimpf O., 2005).

Die wichtigsten Aufgaben des Belüftungssystems bestehen darin,

- die Kühlung des Kopfes bei hohen Temperaturen zu gewährleisten
- für die Zufuhr von Frischluft zum Atmen zu sorgen, um einer Ansammlung von innerhalb des Helmes ausgeatmetem CO<sub>2</sub> entgegenzuwirken
- das Beschlagen des Visieres bei Regen und kühler Witterung zu verhindern bei gleichzeitiger Wasserdichtigkeit der Belüftungsöffnungen und Visierdichtungen
- bei hohen Geschwindigkeiten keine Entstehung von unangenehmem Luftzug an den Augen zuzulassen.

In den 80er Jahren untersuchten Jung und Schenk (1984) sowie Jung (1985 und 1986) in mehreren Studien Aspekte des Mikroklimas im Schutzhelminnenraum von Arbeitsschutzhelmen und erprobten Messverfahren im Labor zur Erfassung von Temperatur und Feuchte unter dem Helm und in der Umgebungsatmosphäre.

Ihre Ergebnisse zeigten, dass zwischen Innen- und Außenseite des Helms Temperaturdifferenzen bis zu 5°C und Feuchtedifferenzen bis zu 39% rF (relative Feuchte) möglich sind (Jung und Schenk, 1984). Ziel der Untersuchungen war es schließlich, Empfehlungen und Vorschläge zur Verbesserung der klimatechnischen Bedingungen (Belüftungssystem, Bohrungen, Farbe der Helmschale) unterschiedlicher Helmarten in verschiedenen Arbeitsbereichen zu erarbeiten. Hierbei wurde ebenfalls der Zielkonflikt zwischen einer ausreichenden Breite der Belüftungsbohrungen und der Reduktion ihrer Wirksamkeit durch das Innenpolster, das zu höheren Feuchten im Schutzhelm führt, festgestellt.

Brühwiler P.A. (2003) untersuchte mit Hilfe einer Transpiration simulierenden Puppe ("Alex") im experimentellen Vergleich zweier Helme den Kühleffekt der Belüftungssysteme. Über Baumwollpads mit Schwitzöffnungen wurde die Feuchtigkeit, die von einem Loch aus auf die Fläche des Kopfes abgegeben wurde, verteilt.

Brühwiler stellte fest, dass der Abtransport von Feuchtigkeit im geschlossenen Belüftungszustand der beiden Helme gleich hoch, jedoch bei offener Belüftung stark divergent ausfiel. Die Windeinwirkung brachte ohne eine Transpirationssimulation keine Verdunstung und somit auch kaum einen Kühleffekt. Die Belüftung im vorderen Gesichtsbereich erwies sich insgesamt als effektiver als im hinteren Bereich der Schädelbasis, der streng isoliert blieb und ein hohes Verbesserungspotential nahe legte.

Es stellten sich viele Fragen, deren Antwort zunächst offen blieb, v. a. bezüglich physiologischer Effekte von Hitze auf die psychomotorische Leistungsfähigkeit von Motorradfahrern, aber auch nach der Rolle der Windgeschwindigkeit sowie nach Effekten von Haaren.

Mit der zuerst genannten Frage beschäftigte sich u. a. Elsensohn G. (2003) im Rahmen einer Diplomarbeit über Thermokomfort beim Motorradhelm.

Mittels Messungen am Manikin und subjektiver Einschätzung von Vpn. bezüglich Wärmeisolation des behelmten Kopfes wurden der Grad des Wärmestresses und die Abnahme der Konzentrationsfähigkeit bei fehlender Konvektion durch Fahrtwind untersucht. Bei warmen Temperaturen stellten sich innerhalb einer Zeitspanne von 20–30 min Kopfweh und Unwohlsein der Probanden ein.

Eine Darstellung der Wärmebilanz im Kopfbereich mit Hilfe von MRI und Ultraschall ist Elsensohn aufgrund der Komplexität der Vorgänge und Messungen nicht gelungen, jedoch eine Beurteilung von Wärmestressindizes mittels EKG-Messungen.

#### 2.1.4 Zur Kohlendioxidkonzentration im Helm

Wie Aldman B. et al. (1981) feststellen, bewirkt eine Ansammlung des durch den Ausatmungsvorgang metabolisch produzierten CO<sub>2</sub> innerhalb des Motorradhelms die Entstehung eines externen „Totraumes“, der ähnlich dem physiologischen Totraum innerhalb der Lunge eine Wiederauffrischung der ausgeatmeten Luft und einen Austausch des sich ansammelnden CO<sub>2</sub> mit Sauerstoff verhindert. Ein dadurch entstehender Anstieg des CO<sub>2</sub>-Partialdruckes in Strukturen des Gehirns und anderem Gewebe legt eine eventuelle physische und psychische Minderung der Leistungsfähigkeit nahe.

Die CO<sub>2</sub>-Menge wird nicht nur durch Faktoren beeinflusst, die den Gasaustausch mitbestimmen, wie z. B. Kleidung, Fahrtwind etc., sondern auch durch den Aktivitätsgrad des Metabolismus, der bei Leistung physischer Arbeit die Rückhaltung von CO<sub>2</sub> innerhalb des Helms begünstigt. Die Studie von Aldman B. et al. untersucht an 5 Integralhelmen und 4 Jethelmen unter Labor und Feldbedingungen zum einen,

1. ob diese die Empfehlungen des Schwedischen Nationalen Gremiums für berufliche Sicherheit und Gesundheit erfüllen: Die maximal erlaubte Konzentration von CO<sub>2</sub> an Arbeitsplätzen beträgt 0,5%; Werte von 1% sind bei einer Aussetzung von max 15 min erlaubt; zum anderen
2. die Effekte des evtl. innerhalb des Helms entstehenden „Totraumes“ und von körperlicher Arbeit (50 Watt auf dem Fahrradergometer) auf den CO<sub>2</sub>-Partialdruck im Körper und auf die Leistungsfähigkeit (psychomotorisch und kognitiv).

Ein Ergebnis dieser Studie war, dass die untersuchten Integralhelme, die gesundheitlich als Obergrenze festgelegten 1% CO<sub>2</sub> unter folgenden Bedingungen überstiegen:

- im Atmungssimulator
- im Labor mit Vpn sowohl während körperlicher Betätigung als auch unabhängig davon
- unter Feldbedingungen (Motorradfahren) im Stand (z.B. an Ampeln)
- bei 2 der 5 Integralhelme sogar bei einer Geschwindigkeit von 30 km/h.

Jethelme zeigten keine CO<sub>2</sub>-Rückhaltung. Bei einzelnen Individualmessungen wurde achtmal die 3 %-Hürde übersprungen und der höchste gemessene Wert lag sogar bei 3,9% CO<sub>2</sub>.

Hinsichtlich der Effekte eines vergrößerten Totraumes sowie körperlicher Betätigung auf den CO<sub>2</sub>-Partialdruck im Gewebe und auf die Leistungsfähigkeit wurden als physikalische Variablen:

- der Endspiegel des CO<sub>2</sub>-Partialdruckes und
- die pulmonare Ventilation

als Leistungsvariablen:

- ein psychomotorischer Test (tracking test) und
- ein kognitiver (arithmetischer) Test bestimmt.

Probanden wurden sowohl in Ruhe als auch während körperlicher Betätigung drei CO<sub>2</sub>-Konzentrationen exponiert:

- 0% (normale Luft, Kontrollwert)
- 3% (beobachteter Fall bei Helmen)
- 5% (Trendanalyse).

Der Endspiegel des CO<sub>2</sub>-Partialdruckes und die pulmonale Ventilation zeigten signifikante Erhöhungen während der Exposition bei 3% und 5% CO<sub>2</sub>, sowohl in Ruhe als auch während körperlicher Belastung. Die durchgeführten Versuche maßen keine signifikanten Beeinträchtigungen der Leistungsfähigkeit während körperlicher Belastung mit Ausnahme der Messungen bei der Exposition von 5% CO<sub>2</sub>.

Eine aktuelle Studie von Brühwiler P. A. et al. (2005) zeigt ähnliche Ergebnisse. Sowohl unter Laborbedingungen im Windkanal als auch unter Feldforschungsbedingungen im Straßenverkehr wurden Durchschnittskonzentrationen von CO<sub>2</sub> gemessen und miteinander vergli-

chen. Die Messungen ergaben unter Labor- und Feldforschungsbedingungen ähnliche Ergebnisse, obwohl die Geschwindigkeiten nicht identisch waren: „Stadtverkehr“ 36 km/h (Labor) bzw. 50 km/h (im Feld) und „Landstraßengeschwindigkeit“ 62 km/h (Labor) bzw. 80 km/h (im Feld).

Hierbei wurden Durchschnittswerte von über 2% im Stand und von unter 1% für Geschwindigkeiten von 50 km/h und mehr gemessen. Das Öffnen des Visiers im Stand minderte die CO<sub>2</sub>-Konzentration auf 0,8 %.

Folgende Durchschnittswerte des inhalierten CO<sub>2</sub> in % wurden exemplarisch unter Laborbedingungen festgehalten, wobei diese in ähnlicher Form bei weiteren Versuchspersonen bestätigt wurden:

- ohne Helm	0,16 %
- mit Helm, offenes Visier	0,77 %
- mit Helm, geschlossenes Visier	1,08 %
- mit Helm, geschlossenes Visier, Schal <u>unter Windeinwirkung bei 50 km/h</u>	0,27 %

Weiterhin wurden zeitabhängige CO<sub>2</sub> und O<sub>2</sub>-Konzentrationen während jedes Atmungsvorganges aufgenommen. Die CO<sub>2</sub>- und O<sub>2</sub>-Konzentrationen verhalten sich komplementär zueinander: eine Abnahme der CO<sub>2</sub>-Konzentration innerhalb des Helmes wurde mit dem Einatmungsvorgang, ein Zuwachs mit der Ausatmung in Verbindung gebracht. Die Sauerstoffkonzentrationsabnahme im Helminnenraum betrug höchstens ca. 1% während der Einatmung, was über den Werten liegt, bei denen bereits negative physiologische Effekte beobachtet werden.

In wie weit kurze Expositionszeiten, denen Motorradfahrer ausgesetzt sind, z. B. an roten Ampeln, diese beeinträchtigen und wie sich geringe CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf die kognitiven Fähigkeiten des Motorradfahrers auswirken, ist nicht abschließend geklärt.

Folgen einer zu hohen CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atemluft sind bekannt, z. B. die Hyperkapnie (erhöhter arterieller Partialdruck des Kohlendioxids (pCO<sub>2</sub>)); meist infolge Minderbelüftung (alveoläre Hypoventilation) und dann mit vermindertem O<sub>2</sub>-Druck) und Atemnot. Ein Anstieg des arteriellen p CO<sub>2</sub> kann zu schweren Hirnödemen und irreversiblen Schädigungen des Gehirns führen.

Selbstverständlich sind diese Auswirkungen beim Führen eines einspurigen Fahrzeuges wie eines Motorrades gefährlich. Aufgrund dieser theoretischen Überlegungen und der gemessenen Werte bleiben bestehende Zweifel hinsichtlich der Wirksamkeit von Helmbelüftungssystemen unter dem Aspekt der aktiven Sicherheit beim Motorradfahren berechtigt.

#### 2.1.5 Zur Erkennbarkeit von Motorradaufsassen

In einer neuseeländische Studie (Wells et al. 2004) wurde untersucht, in wie weit die Erkennbarkeit bzw. Auffälligkeit (engl. conspicuity) von Motorradfahrern das Unfallrisiko beeinflusst. Hierzu wurden in den Jahren 1993 bis 1996 in der Region Auckland (NZ) 463 Motorradunfälle mit behandlungspflichtigen Verletzungen oder tödlichem Ausgang, untersucht. Als Kontrollgruppe wurden 1233 Motorradfahrer zufällig ausgewählt und befragt. Die Mehrheit der Unfälle ereignete sich bei Tage und guten Wetter.

Untersuchungsgegenstand waren z.B.: Farbe des getragenen Helmes, Farbe der getragenen Kleidung, Nutzung des Fahrlichts, Alter, Fahrerfahrung etc..

Die Studie kam u.a. zu nachfolgendem Ergebnis:

- im Vergleich zu Fahrern mit schwarzen Helmen hatten Fahrer mit weißen Helmen ein um 24% niedrigeres Unfallrisiko
- 18% aller Unfälle könnten verhindert werden wenn alle Helme „weiß“ wären
- 11% aller Unfälle könnten verhindert werden wenn kein Helm „schwarz“ wäre
- Reflektierende und/oder fluoreszierende Kleidung vermindert das Unfallrisiko um 37%.

Die Anzahl von Unfällen mit Verletzungsfolgen könnte beträchtlich verringert werden, wenn Motorradfahrer weiße oder nur leicht colorierte Helme und Schutzkleidung mit Reflektoren benutzen würden.



## 2.2 Patentrecherche

Die Patentrecherche wurde in den Datenbanken des amtlichen Veröffentlichungs- und Informationsdiensten des Deutschen Patent- und Markenamtes (DPMA) durchgeführt (<http://publikationen.dpma.de>) sowie in Datenbeständen des DEPATIS-Systems des Deutschen Patent- und Markenamtes (<http://depatisnet.dpma.de>). Es wurde sowohl nach Patenten als auch nach Gebrauchsmustern gesucht.

### Patent:

Ein Patent ist ein hoheitlich erteiltes gewerbliches Schutzrecht, das ein zeitlich begrenztes Verbotungsrecht gewährt.

§ 1 Absatz 1 des Patentgesetzes lautet: Patente werden für Erfindungen erteilt, die neu sind, auf einer erfinderischen Tätigkeit beruhen und gewerblich anwendbar sind. Nicht patentierbar sind nach § 1 Absatz 3: Entdeckungen sowie wissenschaftliche Theorien und mathematische Methoden; ästhetische Formschöpfungen; Pläne, Regeln und Verfahren für gedankliche Tätigkeiten, für Spiele oder für geschäftliche Tätigkeiten sowie Programme für Datenverarbeitungsanlagen. Ein Patentinhaber hat das Recht anderen zu verbieten, die patentierte Erfindung unerlaubt zu verwenden (nur gewerbliche Anwendung), eine private Nutzung der patentierten Erfindung kann nicht unterbunden werden.

### Gebrauchsmuster Unterschied zum Patent:

Ein Patent wird vom Deutschen Patent- und Markenamt nur erteilt, nachdem eine Prüfung auf Neuheit und Erfindungshöhe stattgefunden hat. Diese Prüfung ist oft sehr zeitaufwändig und verursacht Kosten. Das Gebrauchsmuster wird ohne eine solche Prüfung in einem Registrierverfahren eingetragen. Die Erlangung eines Gebrauchsmusters kann daher wesentlich kostengünstiger und schneller erfolgen als die Erteilung eines Patents. Wegen der fehlenden Prüfung ist die Rechtsbeständigkeit des Gebrauchsmusters allerdings oft fraglich, und man kann es in einem Lösungsverfahren eventuell wieder verlieren.

Quelle: <http://www.dpma.de/infos/broschuere/gbm03.html>

### 2.2.1 Übersicht und Anmerkungen

Im gesamten Text, der in den Datenbanken enthaltenen Patente und Geschmacksmuster, wurde nach den Suchbegriffen Motorradhelm, Schutzhelm und Sturzhelm gesucht.

Die Suche, mit den drei oben genannten Suchbegriffen unter der Rubrik „Publikationen“ auf der Internetseite des DPMA ergab insgesamt 341 Treffer, welche als Vollversion im Pdf-Format zum Download zur Verfügung stehen.

Eine direkte Suche nach Begriffen wie aktive Sicherheit oder aktive Helmsicherheit ist in diesen Datenbanken nicht möglich.

Trefferliste: <a href="http://publikationen.dpma.de">http://publikationen.dpma.de</a>		Trefferliste: DEPATISnet (Suchkatalog des Deutschen Patent und Markenamtes)	
Schutzhelm	259 Treffer	Schutzhelm	500 Treffer*
Motorradhelm	30 Treffer	Motorradhelm	166 Treffer*
Sturzhelm	52 Treffer	Sturzhelm	396 Treffer*

\*Unter DEPATISnet können die Patente nur Einzelseitenweise herunter geladen werden, nicht aber die Vollversion als eine Datei.

Die vollständige Sichtung der recherchierten Patente ergab eine konsistente Anzahl an Erfindungen in allen Bereichen der passiven und aktiven Sicherheit von Motorradschutzhelmen. Der Schwerpunkt soll bei der hiesigen Sichtung und Beurteilung jedoch auf Aspekte der aktiven Sicherheit liegen, die im Mittelpunkt der vorliegenden Untersuchung hinsichtlich potentieller Verbesserungen von Motorradschutzhelmen stehen.

Im Bereich der Aeroakustik sind unterschiedliche schalldämmende Polsterdichtungen zur hermetischeren Verschließung aller Übergänge im Hals-Kopf- und Visierbereich sowie auf-

blasbare Luftkissen zu finden, die direkt am Ohr innerhalb des Helms ihre Lärm mindernde Wirkung entfalten.

Die meisten Aspekte der aktiven Sicherheit betreffenden Patente beziehen sich auf die Qualität der Belüftungssysteme. Hierzu lassen sich Lüftungselemente finden, deren Öffnungsposition sich an die Kopfhaltung des Fahrers anpassen bzw. verstellbare Belüftungseinrichtungen.

Zur besseren Belüftung des Helms sind weiterhin Patente angemeldet, die miteinander kommunizierende Durchgangsöffnungen in Helmaußen- und Helminnenschale vorschlagen, weiterhin eine abgewandelte Helmschale, die partiell durch luftdurchlässiges Material ersetzt wird sowie ein äußerst auffälliges Konzept eines Motorradhelms mit eingebautem Zubehörventilator im Hinterkopfbereich.

Für eine ausreichende Sauerstoffversorgung im Notfall eines schlagartigen Auftreffens des Kopfes eines Motorradfahrers in einer Unfallsituation soll ein Sauerstoffspeicher zwischen den Helmschalen sorgen.

Ein beträchtlicher Teil der Aufmerksamkeit fällt Filtersystemen zu, die Schadstoffe, Pollen oder andere Partikel aus der Atemluft fernhalten und für eine saubere, schadstoffarme Sauerstoffversorgung des Fahrers sorgen sollen. In diesem Zusammenhang steht ebenfalls ein Patent zu einer Belüftungseinrichtung, die eine Erwärmung der in das Helminnere zuzuführenden Luft ermöglicht.

Ein weiterer Anteil der Patente beschäftigt sich mit Parametern der aktiven Sicherheit bezüglich Sicht- und Visiereigenschaften von Motorradhelmen. Es wird auf Probleme der Sonneneinstrahlung, der Entstehung von Beschlag bei Regenwetter, der Fehlsichtigkeit etc. hingewiesen. Hierzu sind verschiedene Sonnenblenden, akkubetriebene Scheibenwischereinrichtungen, eine Heizvorrichtung gegen Visierbeschlag sowie Visiere für Brillenträger und gegen Fehlsichtigkeit zu finden.

Denselben Aspekt betreffen Erfindungen wie einklappbare, am Helm angebrachte Rückspiegel sowie Rückstrahler und verschiedene Rücklichtsysteme am Helm, besonders in den Schutzhelm integrierte Bremsleuchten und Zusatzblinkleuchten, die eine verbesserte Wahrnehmbarkeit des Motorradfahrers von außen gewährleisten sollen.

Weiterhin sollen in den Schutzhelm eingebaute Beleuchtungseinrichtungen die Umgebung besser sichtbar machen. Hierzu sind eine LED-Beleuchtung sowie eine in ihrer Intensität verstellbare Lichtquelle am Helm, die den Lichtwechsel in der Umgebung ausgleicht, zu finden.

Sonstige Erfindungen richten ihr Augenmerk auf die Passform von Helmen, hinsichtlich deren Größe durch Luftkissen oder Flüssigkeit eine Anpassung an die individuelle Kopfform des Helmträgers gewährleistet werden soll. Auffällig sind auch Visierschließvorrichtungen oder Schnallenverschlüsse, die besonders schnell und effizient bedient/geöffnet werden können.

### 2.2.2 Dokumentation der aufgefundenen Patentschriften

Eine Dokumentation der aufgefundenen Patentschriften ist auf einer im Rahmen der Projektbearbeitung bereitgestellten DVD enthalten.



### **3 PROJEKTHELME**

#### **3.1 Auswahl und Übersicht**

Zur Durchführung der Untersuchung wurden Schutzhelme verschiedener Marken und Modelle in Abstimmung mit der Bundesanstalt für Straßenwesen so definiert, dass sich eine zielführende, projektdienliche Zusammenstellung derzeit auf dem Markt befindlicher Helme ergab. Eine Zusammenstellung der Projekthelme ist in Tabelle 3-1 wiedergegeben, die Kurzbezeichnungen der Helme und weitere Helmmerkmale in Tabelle 3-2.

Es wurden insgesamt 12 Helmmodelle verschiedener Bauformen, Hersteller / Vertreiber und Preisklassen, jeweils in 3 Größen beschafft. Ein weiteres Exemplar jedes Modells wurde in einer Laboruntersuchung zerlegend untersucht. Als 13. Helmmodell wurde zur Durchführung von einigen Vergleichsmessungen ein weiterer Helm in der Bauform Jethelm bereitgestellt. Alle Helme sind nach ECE-R 22.05 geprüft; eine Berücksichtigung der so genannten „Brain-caps“ erschien nicht sinnvoll. Um einen abgerundeten Überblick zum Helmmerkmal „aktive Sicherheit“ zu gewinnen, wurden die wesentlichen Bauformen Integral-, Klapp-, Jet- und Crosshelme aus unterschiedlichen Preisklassen in die Untersuchung einbezogen (siehe Tabelle 3-1).

Helme aus dem unteren Preissegment (unterhalb einem VP von 100 €) stehen im Gegensatz zu Helmen aus dem oberen Preissegment (oberhalb VP von 400-500 €), die qualitativ hochwertige Helme repräsentieren sollen.

Helme der Mittelklasse sind der Uvex Boss 530 Sport, Integral und der Nolan N83 Classic. Der Crosshelm Uvex FX 250 sowie der Jethelm Nexo Arizona dienten dazu, die Liste mit solchen Helmen abzurunden, die einerseits weniger für hohe bis sehr hohe Geschwindigkeiten in Frage kommen, andererseits aber deutlich differenzierbare Messwerte erwarten lassen.

#### **3.2 Computertomographische Untersuchung der Projekthelme**

Die Projekthelme wurden am hiesigen Institut computertomographisch untersucht. Zum Einsatz kam ein Computertomograph vom Typ Siemens SOMATOM AR / Spiral (Somaris 4). Die Schnitte wurden parallel zur x-z Ebene (Sagittalebene) des Schutzhelmes gelegt. Die Schichtdicke bei der Untersuchung betrug 3 mm bei einem Wagnervorschub von 2 mm. Die Zielsetzung der Untersuchung war, die Möglichkeiten einer berührungsfreien, nicht zerstörenden Untersuchungsmethode einzusetzen zur Dokumentation und Befundung des Verlaufs von Belüftungsbohrungen und Belüftungskanälen in der Helmschale und in der Schutzpolsterung von Motorradschutzhelmen und hieraus Informationen zur Funktionalität des Belüftungssystems zu gewinnen.

Der am hiesigen Institut vorhandene Computertomograph kann die Untersuchungsergebnisse als zwei- oder dreidimensionale Ansichten visualisieren; siehe hierzu Abbildung 3-1 bis Abbildung 3-4.

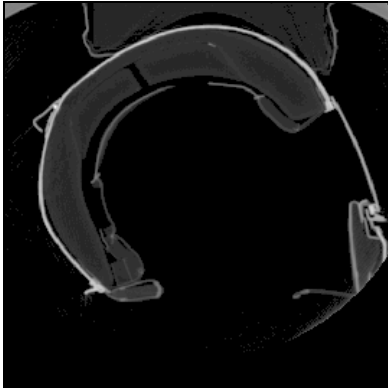


Abbildung 3-1: Computertomographie 2D

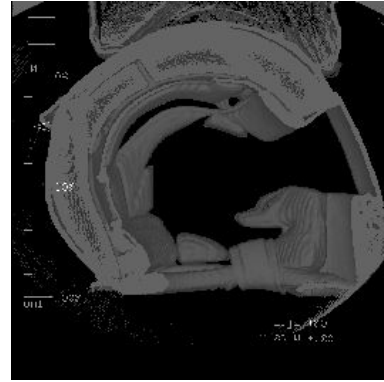


Abbildung 3-2: Computertomographie 3D

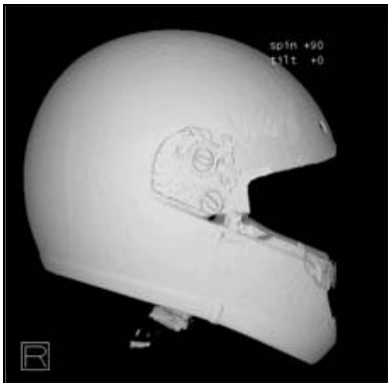
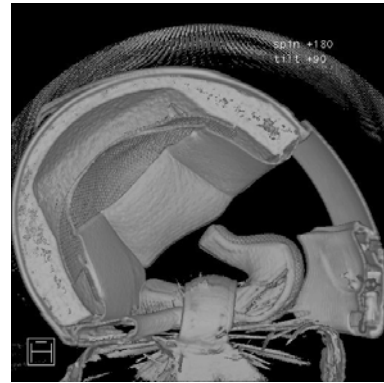
Abbildung 3-3: Computertomographie 3D -  
Schutzpolsterung von außenAbbildung 3-4: Computertomographie 3D -  
Schutzpolsterung von innen

Abbildung 3-3 zeigt die dreidimensionale Darstellung einer Schutzpolsterung von außen.

Abbildung 3-4 zeigt die dreidimensionale Darstellung eines Helmes (Schnitt in Helmmittell-ebene), wobei der Schutzpolstereinsatz im Helmdom aufgrund der geringeren Dichte nicht dargestellt wird.

### 3.3 Laboruntersuchung der Projekthelme

Die Laboruntersuchung der Projekthelme umfasste zunächst eine äußere Beschreibung eines jeden Helmes und eine nachfolgende zerlegende Untersuchung, um insbesondere die Gestaltung des Be- und Entlüftungssystems darzustellen. Die Untersuchung umfasste eine exakte Dokumentation von Art, Aufbau und helmspezifischen Merkmalen, insbesondere solcher Merkmale, die für die aktive Helm- und Fahrsicherheit von Bedeutung sind. Dazu zählten neben den Belüftungssystemen aeroakustische Komponenten sowie die Kinnriemenverschlussysteme und auch ergonomische Aspekte wie die Bedienbarkeit mit Handschuhen (z.B. Trageeinrichtung und Belüftung).

Neben der Berücksichtigung von Begleitunterlagen (in der Regel mehrsprachig) die von knapp gefassten Beipackzetteln bis hin zu 22 Seiten (deutsche Fassung) umfassende Bedienungsanleitungen bzw. Gebrauchsanleitungen bestand erfolgte bei jedem Helm eine Demontage des Visiers und der Kleinteile, Entnahme und Abgarnierung der Schutzpolsterung, sowie eine deskriptive und fotografische Dokumentation der Befunde.

Helmdaten die bei der Beschreibung der Helme im Einzelnen nicht genannt werden (wie z.B. Helmgröße, -gewicht) sind in Tabelle 3-1 wiedergegeben.

Nr	Helmhersteller / Vertreiber	Helmodell	Bauform	Helmmasse angegeben (Größe L)	Helmmasse gemessen (Größe L)	Material Helmaußenschale	Material Schutz- polsterung	Komfort- polsterung heraus- nehmbar	Belüftung Gesichtsfeld i. d. Fkt. nachvollziehbar	Belüftung Kopf i. d. Fkt. nachvollziehbar	Kinnriemen- verschluss	Bauteile über dem Visier- scharnier
1	Uvex	Boss 530 Sport	Integral	1450 ± 50g	1490g	Thermoplast; lt. Angabe: Polycar- bon	EPS 2), 3)	ja	ja	ja	Kinnriemen- schloss	nein
2	Uvex	SX 250	Cross	1300 - 1400g	1515g	Duroplast, GFK	EPS 2)	ja	ja	ja	Doppel D- Ring	entfällt
3	Airoh	SV 55	Klapphelm	1600 ± 50g	1660g	Thermoplast	EPS 2)	ja	ja	ja	Zahnriemen- schloss	nein
4	Probiker	RFX Fiber	Integral	1540 ± 50g	1455g	Duroplast	EPS 2)		ja	teilweise 1)	Doppeldruck- tastenschloss	nein
5	Nolan	N83 Clas- sic	Integral	1500g	1710g	Thermoplast	EPS 2)	ja	ja	ja 2)	Zahnriemen- steckschloss	ja
6	Nexo	Modular II	Klapphelm	1750 ± 50g	1790g	Thermoplast 1)	EPS 2)	ja	nein	nein	Doppeldruck- tastenschloss	ja
7	Nexo	Arizona	Jethelm o. V.	1050 ± 50g	1200g	Thermoplast 1)	EPS 2)	ja	entfällt	entfällt	Doppeldruck- tastenschloss	entfällt
8	Schuberth	S1	Integral	ca. 1520g	1550g	Duroplast	EPS 2)	ja	ja	ja	Drucktasten- schloss	nein
9	Schuberth	C2	Klapphelm	ca. 1710g	1785g	Duroplast	EPS 2)	ja	ja	ja	Drucktasten- schloss	ja
10	Schuberth	J1	Jethelm m. V.	ca. 1485g	1515g	Duroplast	EPS 2)	ja	entfällt	ja	Drucktasten- schloss	nein
11	Shoei	XR 1000	Integral	1400g	1435g			ja, nur Wan- genpolster	ja	ja	Doppel D- Ring	nein
12	Lidl	B-Square	Integral	1620 ± 50g	1660g	Thermoplast; lt. Angabe: ABS	EPS 1)	nein	nein	nein	Drucktasten- schloss	ja
13	Nexo	Rider	Jethelm m. V.	1200 ± 50g	1260g	Thermoplast 1)	EPS 2)	ja	entfällt	entfällt	Doppeldruck- tastenschloss	ja

1) lt. Angabe: „PC Alloy & ABS Shell Construction with a polysterene Liner respectively“

1) einteilig  
2) mehrteilig  
3) inhomogene Dichte

1) Öffnungen in der Helmschale stimmen nur teilweise mit den Belüftungskanälen überein  
2) Belüftungsöffnungen werden teilweise überdeckt

Tabelle 3-1: Übersicht der verwendeten Projekthelme

### 3.4 Kurzbezeichnung der Projekthelme

Um die Versuchsdateien, die bei den Messungen erstellt wurden, korrekt zu bezeichnen, wurde am Anfang des Projektes eine Codierung aufgestellt, wodurch gewährleistet ist, dass die Dateien sicher identifiziert werden konnten. Zusätzlich bietet die Liste den Vorteil, dass es für jeden Helmtyp eine Abkürzung gibt, die noch Rückschlüsse auf den Helmtyp zulässt. Diese Abkürzungen werden auch in der Auswertung zur Kennzeichnung der Helme benutzt. Die hier aufgeführte Reihenfolge entstand nach Ablauf der Versuche und diese nach Verfügbarkeit der Helme.

Vp	Helmhersteller / Vertreiber	Helmmodell	Bauform	Helmgröße	Versuchsort	Versuchsart	lfd. Nr.	Vollständige Helmbezeichnung
xx.	xx.	xx.	x.	x.	x.	x.	00	
fs	uv	bo	i (Integral)	s	w (Windkanal)	k (Kraftmessung)		Uvex BOSS 530 Sport
ks	uv	fx	c (Crosshelm)	m	s (systematisch)	g (Geräuschk.)		Uvex FX 250
ii	ai	sv	k (Klapphelm)	l	f (freie V.)	t (Temperaturm.)		Airoh SV 55
ta	pr	rf	j (Jethelm)		v (validierungs-V.)			Probiker RFX Fiber
jr	no	n8						Nolan N 83
	ne	mo						Nexo Modular II
	ne	ar						Nexo Arizona
	sc	s1						Schuberth S 1
	sc	c2						Schuberth C 2
	sc	j1						Schuberth J 1
	sh	xr						Shoei XR 1000
	li	bq						Lidl B-Square
	sc	f1						Kraftmesshelm

Bsp.:

ks	sc	s1	i	s	w	k	01
----	----	----	---	---	---	---	----

Tabelle 3-2: Kurzbezeichnung der Projekthelme

Die Kurzschreibweise für die erste Versuchsdatei von der Vp KS, mit dem Integralhelm Schuberth S 1, Größe S, Kraftmessung im Windkanal würde lauten: ks\_sc\_s1\_i\_s\_w\_k\_01

In der Auswertung wird zum Beispiel der Uvex Boss 530 Sport mit UV BO bezeichnet.

### 3.5 Kinnriemenverschlusssysteme

Tabelle 3-3 zeigt eine Übersicht über die verschiedenen bei den Projekthelmen verwendeten Kinnriemenverschlüsse.



Uvex Boss 530 Sport - Kinnriemenschluss  
\*Komfort Monomatik-Kinnriemenschluss



Airoh SV 55 - Zahnriemenschluss  
\*Ratschen Schnellverschluss



Nolan N83 Classic - Zahnriemensteckschluss  
\*Zahnriemensteckschluss (Microlock)



Probiker RFX - Doppeldrucktastenschluss  
\*nicht genannt



Schubert S1 - Drucktastenschluss  
\*Drucktastenschnellverschluss



Shoei XR 1000 - Doppel D-Ring  
\*D-Ring

\* Bezeichnung des Herstellers/ Vertreibers

Tabelle 3-3: Kinnriemenverschlusssysteme der Projekthelme



### 3.6 Ergebnisse der CT-Untersuchungen

Die Möglichkeiten der nicht zerstörenden Schutzhelmuntersuchung mittels eines Computertomographen werden nachfolgend an zwei Projekthelmen SH XR (Größe M) sowie NE MO (Größe L) dargestellt. Wie in Kapitel 3.2 beschrieben, lag der Schwerpunkt der Untersuchung auf der Darstellung des Belüftungssystems. Dementsprechend werden nachfolgend ein nach der CT Untersuchung als funktionstüchtig sowie ein als nicht funktionstüchtig eingestuftes Belüftungssystem gezeigt.

Bei der Untersuchung des Belüftungssystems der Helme werden, um Fehlinterpretationen einzelner Bilder zu vermeiden, die kompletten CT -Schnittsequenzen ausgewertet. Nachfolgend werden einige ausgewählte CT Bilder erläutert.

Ein im grundsätzlichen Aufbau nachvollziehbares Belüftungssystem zeigt der SH XR.

Deutlich ist in Abbildung 3-5 die Belüftungsbohrung im Frontbereich des Helmes zu erkennen. Korrespondierend zu dieser führt ein Belüftungskanal durch die Schutzpolsterung in den Helm. Auch hinsichtlich des Aspektes der Anströmung liegt der Belüftungskanal des Helmes, in Trage- und Fahrsituation, direkt im frontalen Luftstrom. Die Strömung von Luftvolumina in das Innere des Helmes ist somit seitens der konstruktiven Gegebenheiten zwanglos gegeben.

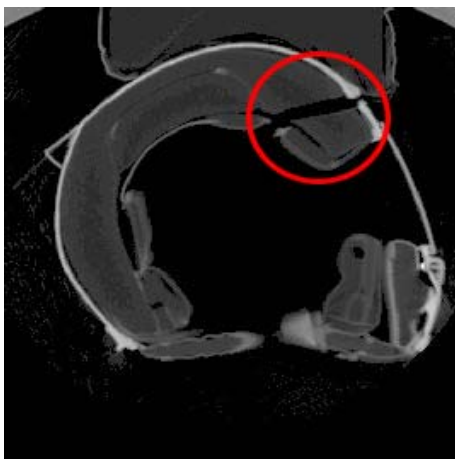


Abbildung 3-5: CT-SH XR Belüftungssystem vorne



Abbildung 3-6: CT-SH XR Belüftungssystem hinten

Ebenfalls deutlich erkennbar ist das Entlüftungssystem im Hinterhauptsbereich - siehe Abbildung 3-6. Die Bohrung in der Helmschale, die Belüftungskanäle der Schutzpolsterung sowie das im Helmdom eingesetzte Teil der Schutzpolsterung zeigen einen durchgängigen Belüftungskanal ausreichenden Querschnittes.

Ein in der Funktion nicht nachvollziehbares Belüftungssystem zeigt der Projekthelm NE MO.

Eine in Abbildung 3-7 erkennbare Bohrung im frontalen Bereich der Helmschale, dient wie im Tomogramm erkennbar nur der Befestigung einer aufgesetzten Belüftungshutze. Diese ist als schmaler schwarzer Streifen oberhalb der Bohrung zu erkennen; unterhalb dieser Bohrung befindet sich in der Schutzpolsterung kein weiterführender Belüftungskanal, der eine Belüftungsfunktion nachvollziehbar machen würde.

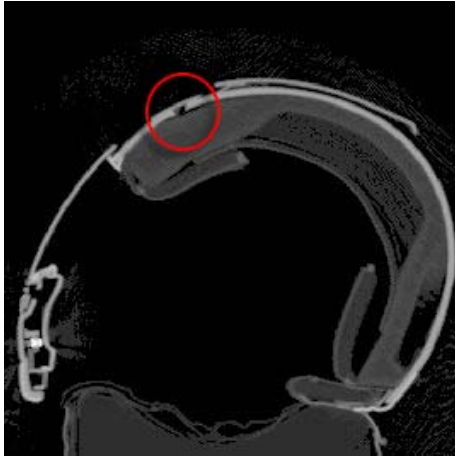


Abbildung 3-7: CT-NE MO Bohrung Helmschale frontal

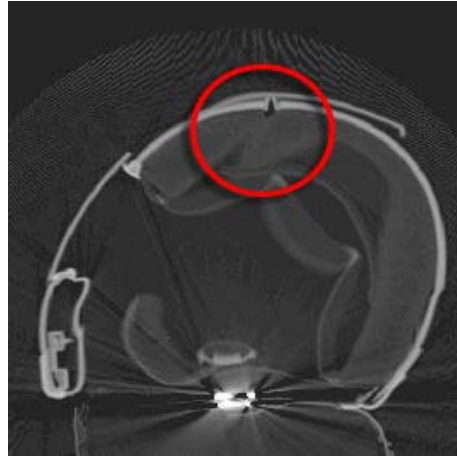


Abbildung 3-8: CT-NE MO Bohrung Helmschale Helmdom

Abbildung 3-8 zeigt eine zweite Bohrung im Bereich des Helmdoms die auch der Befestigung der Belüftungshutze dient.

Es ist jedoch zu vermuten, dass diese Bohrung gleichzeitig als Be- oder Entlüftungsöffnung vorgesehen ist. Der in der Schutzpolsterung erkennbare Belüftungskanal überlappt in seinem Querschnitt jedoch nur teilweise mit der Bohrung im Helmdom.

Einen direkten Schnitt durch den Belüftungskanal im Helmdombereich zeigt nachfolgende Abbildung 3-9. Wird der Helm in Sitzposition auf dem Motorrad getragen, so verläuft der Kanal in direkter z-Richtung (Richtung der Körperlängsachse); es kann daher allenfalls vermutet werden, dass dieser Kanal nur der Helmentlüftung dienen kann.

Im dargestellten Bereich des Helmschnittes befindet sich - wie oben schon angemerkt - jedoch keine korrespondierende Entlüftungsbohrung in der Helmschale.

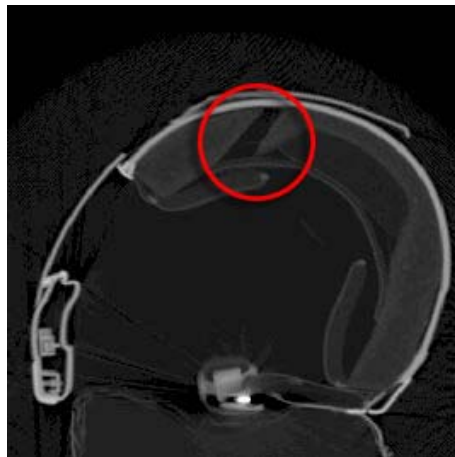


Abbildung 3-9: CT-NE MO Belüftungskanal Schutzpolsterung

Sämtliche hier dargestellten Ergebnisse der CT Untersuchung wurden durch die nachfolgende Laboruntersuchung der Helme überprüft und bestätigt und gaben andererseits Hinweise zur Vorgehensweise bei den Helmlaboruntersuchungen.

### 3.7 Ergebnisse der Helmlaboruntersuchung

Nachfolgend werden die Untersuchungsprotokolle der einzelnen Helme in zusammenfassender Form einschließlich zugehöriger Abbildungen wiedergeben. Besonderes Augenmerk galt hierbei den in der Laboruntersuchung gewonnenen Erkenntnissen zu den Belüftungssystemen der Helme.

### **Uvex Boss 530 Sport RS**

#### **Allgemeine Beschreibung**

Integralhelm des Herstellers Uvex, Typ Boss 530 Sport RS (UVP bei Helmbeschaffung ca. € 260,-). Getöntes Visier mit „Antifog-Beschichtung“; insgesamt sieben Raststufen, keine Stadtstellung.

Der Kinnriemenverschluss ist seitlich in der einteiligen Helmaußenschale, die aus thermoplastischem Kunststoff besteht, integriert. Auswechselbare Komfortpolsterung. Die Schutzpolsterung ist zweiteilig und besteht aus expandiertem Polystyrolhartschaum (EPS), wobei ein Teil innen am Helmdom eingeklebt ist (siehe Abbildung 3-13). Im Bereich des Hinterhauptes sind zwei zusätzliche Schichten einerseits aus Schaumstoff und andererseits aus weichem Styropor aufgeklebt. Die Schutzpolsterung hat im Dombereich integrale Dichteunterschiede (Abbildung 3-12).



Abbildung 3-10: Uvex Boss 530 Sport RS, Frontal- und Seitenansicht

#### **Belüftungssystem**

Für das Gesichtsfeld ist am Kinnbügel eine Visierbelüftung angebracht, die durch eine Kunststoffklappe verschließbar ist. Der Volumenstrom fließt „von oben“ durch diese Öffnung und gelangt über Kanäle, die in der Kinnschutzpolsterung integriert sind (Abbildung 3-11), zum unteren Visierrand. Der Helm hat vorne am unteren Kinnbügelrand einen ausklappbaren Spoiler mit Belüftungsgitter.

Für die Kopfbelüftung sind an der Helmschale insgesamt vier Lufthutzen aus Kunststoff angebracht; die vorderen für den Lufteinlass können durch relativ kleine Hebel geöffnet werden. Der Volumenstrom der Lüftung gelangt durch rechts und links angeordnete Bohrungen der Helmaußenschale A ( $\varnothing$  7mm) und durch Bohrungen in der Schutzpolsterung in den Helminnenraum. Für den Luftaustritt muss der Volumenstrom durch die Komfortpolsterung in die hinteren Bohrungen der Schutzpolsterung, um an den zwei ovalen Bohrungen B (16 x 8 mm), unterhalb der weiter hinten befestigten Lufthutze, wieder austreten zu können (Abbildung 3-12 und Abbildung 3-13).



Abbildung 3-11:  
Oben: Spoiler mit Belüftungsgitter,  
(am unteren Helmrand)  
Unten: Kinnschutzpolster mit integrierten  
Belüftungskanälen.



Abbildung 3-12: Draufsicht auf  
die Schutzpolsterung.  
Es sind die 4 Belüftungskanäle  
zu erkennen sowie die unterschiedliche  
Dichte des EPS



Abbildung 3-13: Ansicht von  
unten in die Schutzpolsterung.  
A: Lufteinlass  
B: Luftauslass

### Uvex FX 250

#### **Allgemeine Beschreibung**

Crosshelm des Herstellers Uvex, Typ FX 250 (UVP bei Helmbeschaffung ca. € 279,-). Für die Projektfahrten wurde zum Helm die Motorradbrille vom Hersteller Uvex, Typ FP 501 Supercross verwendet.

An der Helmaußenschale, die aus GFK besteht, ist ein flexibler Schirm in Dekorfarbe aus thermoplastischem Kunststoff mit einer Inklinationsverstellung angebracht.

Die Schutzpolsterung ist zweiteilig und besteht aus expandiertem Polystyrolhartschaum (EPS), wobei ein Teil innen am Helmdom eingeklebt ist (siehe Abbildung 3-17). Der Kinnriemen wird mit einem Doppel-D Ring verschlossen.

Die Komfortpolsterung ist vierteilig (2 Wangenpolster, 1 Kopfpolster und halbkreisförmiges Polster am Hinterhauptsabschluss).



Abbildung 3-14: Uvex FX 250, Frontal- und Seitenansicht

#### **Belüftungssystem**

Für die Gesichtsfeldbelüftung ist im Kinnbügel ein ca. 25 mm großes Kunststofflochgitter angebracht (Abbildung 3-15), das nicht verschließbar ist. Zudem befinden sich am Kinnbügel 2 symmetrisch angebrachte Öffnungen (je 17 x 3 mm).

Für die Kopfbelüftung sind an der Helmaußenschale sechs mit einem Metallgitter versehene Öffnungen eingelassen (Abbildung 3-16). Korrespondierend zu diesen Öffnungen sind in der Schutzpolsterung Bohrungen angebracht (Abbildung 3-17). Insgesamt verfügt die Schutzpolsterung über ein aufwändig angelegtes System mit insgesamt 16 Belüftungsbohrungen und Kanälen. Die Komfortpolsterung hat nahe am Helmdom, unter den Belüftungskanälen 2 sehr dünne und luftdurchlässige Textilstreifen.



Abbildung 3-15: Kinnenteilbelüftung



Abbildung 3-16: Stirn- und Überkopfbelüftung, Schirm demontiert



Abbildung 3-17: Belüftungskanäle in der Schutzpolsterung

## Airoh SV 55

### Allgemeine Beschreibung

Klapphelm des Herstellers Airoh, Typ SV 55 (UVP bei Helmbeschaffung ca. € 199,-). Das ungetönte Visier hat vier Raststufen, keine Stadtstellung und an der Außenseite keine zusätzliche Kunststoffabdeckung. Im geschlossenen Zustand dichtet das Visier nicht vollständig ab. Zusätzlich gibt es eine integrierte, ausklappbare Sonnenblende.

Die Helmaußenschale besteht aus thermoplastischem Kunststoff. Der klappbare Kinnbügel wird mit einer Drucktaste, die zentral an der Innenseite des Kinnbügels angebracht ist, entriegelt. Der beidseitige Hakenverschluss besteht aus Kunststoff und rastet deutlich ein. Der Kinnriemen wird mit einem Zahnriemensteckschloss verriegelt.

Die Komfortpolsterung am Kopf ist einteilig, herausnehmbar und hat am Helmdom luftdurchlässige Textileinlagen. Die Schutzpolsterung besteht aus expandiertem Polystyrolhartschäum (EPS).



Abbildung 3-18: Airoh SV 55, Frontal- und Seitenansicht

### Belüftungssystem

Die Belüftung für das Gesichtsfeld besteht aus einer mittleren Öffnung (4 x 20 mm) und zwei seitlichen Öffnungen (4 x 24 mm), die durch einen zentral angebrachten Kunststoffschieber bedient werden (Abbildung 3-19). Als Luftführung dient das Kinnschutzpolster im Kinnbügel. Es bestehen Spaltmaße zwischen Kinnbügel und Kinnschutzpolster.

Die Bedienung der Kopfbelüftung erfolgt einerseits im Stirnbereich mittels zwei symmetrisch angebrachter Kunststoffschieber (Luft einlass, ca. 22,5 mm) und andererseits mit einem Kunststoffschieber am Hinterhauptsbereich (Luftauslass, ca. Ø 8 mm), (Abbildung 3-20).

Die Schutzpolsterung beinhaltet insgesamt 10 Bohrungen, wovon drei Bohrungen mit den Öffnungen in der Helmaußenschale korrespondieren. Auf der Außenseite der Schutzpolsterung verlaufen offene Kanäle bis zum Hinterhauptsabschluss (siehe Abbildung 3-21). An der Innenseite der Schutzpolsterung gibt es 6 Leisten (ca. 20 mm hoch), die im Bereich des Helmdomes verlaufen. 6 Öffnungen, die sich am oberen Visierrand zwischen Schutz- und Komfortpolsterung befinden, lassen Luft in den Bereich der Leisten einströmen.



Abbildung 3-19: Frontalansicht, Gesichtsfeldbelüftungssystem im Kinnbügel

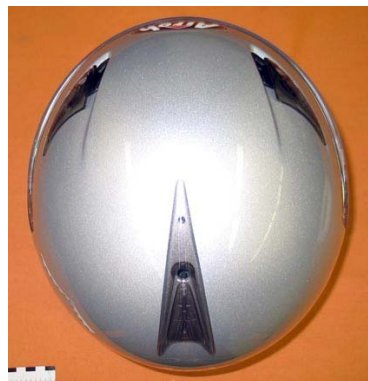


Abbildung 3-20: Draufsicht auf das Kopfbelüftungssystem

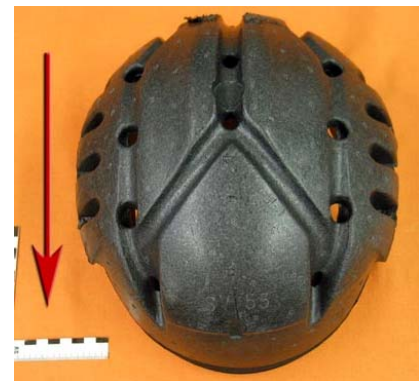


Abbildung 3-21: Draufsicht Schutzpolsterung mit Belüftungskanälen

### **Probiker RFX**

#### **Allgemeine Beschreibung**

Integralhelm des Herstellers Probiker, Typ RFX (UVP bei Helmbeschaffung ca. € 99,-).

Das tatsächliche Gewicht liegt 70 gr unter dem angegebenen Gewicht von  $1530 \pm 50$  gr.

Das Visier hat 5 Raststufen, keine Stadtstellung und an der Außenseite keine zusätzliche Kunststoffabdeckung. Im geschlossenen Zustand liegt der untere Visierrand auf der Abdeckung von der (Gesichtsfeld-)Belüftung an. Das Visier ist mit einer vollständig umlaufenden Kunststofflippe, die größtenteils anliegt, abgedichtet. Die Helmaußenschale besteht aus duroplastischem Kunststoff (Fiberglas). Der Kinnriemen wird mit einer Doppeldrucktaste verschlossen.

Die Komfortpolsterung am Kopf ist einteilig, herausnehmbar und hat am Helmdom luftdurchlässige Textileinlagen sowie Bohrungen in der Nähe der Belüftungskanäle. Die Schutzpolsterung ist 2-teilig und besteht aus expandiertem Polystyrolhartschaum (EPS), wobei ein Teil innen am Helmdom eingeklebt ist.



Abbildung 3-22: Probiker RFX, Frontal- und Seitenansicht

#### **Belüftungssystem**

Die Belüftung für das Gesichtsfeld wird über einen zentral angebrachten, sehr kleinen Schiebeschalter am Kinnenteil betätigt (Abbildung 3-23), wodurch 4 quadratische Öffnungen (3 mm breit), die sich im Luftstrom befinden, freigegeben werden. Hinter dem Kinnbügel ist ein Kunststoffteil eingebracht, das als Luftführung dient. Am unteren Visierrand ist ein Atemabweiser aus Kunststoff eingesteckt, vorne an der unteren Helmöffnung befindet sich ein Windabweiser aus Textil.

Für die Kopfbelüftung sind in der Helmschale insgesamt 6 Öffnungen angebracht; 2 im Stirnbereich  $\varnothing$  6mm (Schiebeschalter mit jeweils 3 Raststufen) (Abbildung 3-24), 2 im Hinterhauptsbereich  $\varnothing$  6mm (Schiebeschalter mit jeweils 3 Raststufen) und 2 im Bereich des Hinterhauptsabschluss  $2 \times 9$ mm. In der Schutzpolsterung sind unterhalb der Bohrungen der Helmschale Belüftungskanäle eingebracht, die sich aber nur teilweise überdecken (Abbildung 3-25).



Abbildung 3-23: Gesichts- und Visierbelüftung



Abbildung 3-24: Kopfbelüftung

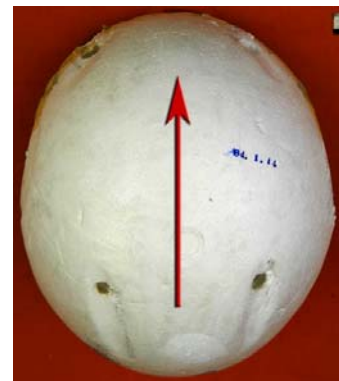


Abbildung 3-25: Draufsicht, Schutzpolsterung mit Belüftungskanälen

### **Nolan N 83**

#### **Allgemeine Beschreibung**

Integralhelm des Herstellers Nolan, Typ N 83 (UVP bei Helmbeschaffung ca. € 199,-). Das Gewicht ist mit 1500 gr angegeben, das tatsächliche Gewicht liegt jedoch bei 1660gr. An dem leicht getönten Visier ist an der Innenseite eine zusätzliche, auswechselbare Antibeslagsschicht angebracht. Das Visier rastet deutlich in den 5 Raststufen ein, hat keine Stadtstellung. Eine vollständig umlaufende Dichtung liegt ringsum an.

Die Helmschale besteht aus einem thermoplastischen Kunststoff und ist mit einer Klarlacklackierung versehen. Der Verschluss des Kinnriemens ist als Zahnriemensteckschloss ausgeführt.

Die Komfortpolsterung ist dreiteilig und herausnehmbar. 2 Wangenpolster und eine Kopfpolsterung mit Textileinlagen und Belüftungslöchern. 2 zusätzliche kleine Poster, die zur Geräuschreduzierung eingesetzt werden können, sind im Lieferumfang vorhanden, wurden aber während der Projektfahrten nicht verwendet. Die Schutzpolsterung ist 2-teilig und besteht aus expandiertem Polystyrolhartschaum (EPS), wobei das kleinere kalottenförmige Teil innen am Helmdom eingeklebt ist.



Abbildung 3-26: Nolan N83, Frontal- und Seitenansicht

#### **Belüftungssystem**

Die Belüftung für das Gesichtsfeld wird über zwei Kippschalter am Kinn teil betätigt, die in einem Kunststoffteil untergebracht sind (Abbildung 3-27). Die Belüftungsklappen öffnen nicht entgegen der Richtung des Fahrtwindes. Der Luftstrom verläuft weiter zwischen dem Kunststoffteil und dem Kinnbügel zum Visier. An der unteren Helmöffnung kann zusätzlich vorne ein kleines Kunststoffteil zur Abweisung des Fahrtwindes eingesteckt werden.

Für die Kopfbelüftung ist eine Kunststoffklappe mittig und zwei Kunststoffklappen seitlich angebracht und (Abbildung 3-26 und Abbildung 3-27). Bei der mittleren Klappe verläuft der Luftstrom von der vorderen Öffnung direkt zur hinteren Öffnung. Die dazugehörige Bohrung in der Helmschale wird teilweise durch den integrierten Klappenmechanismus verdeckt. Die seitlichen Klappen liegen im Fahrtwind und haben eine korrespondierende Bohrung in der Helmschale. Die Schutzpolsterung enthält Bohrungen zum Helminnenraum (Abbildung 3-29), und Kanäle an der Außenseite, die aber nicht zur Helmaußenschale abgedichtet sind.



Abbildung 3-27: Gesichts- und Visierbelüftung



Abbildung 3-28: Belüftung bei demontierter Abdeckung

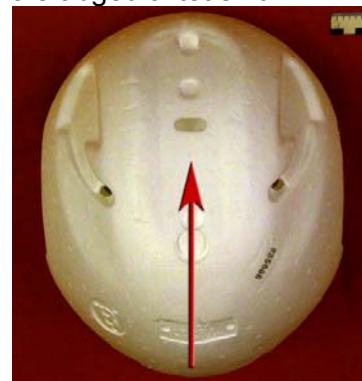


Abbildung 3-29: Schutzpolsterung mit Luftführungskanälen

## **Nexo Modular II**

### **Allgemeine Beschreibung**

Klapphelm des Herstellers Nexo, Typ Modular 2 (UVP bei Helmbeschaffung ca. € 79,-). Das Visier ist nicht getönt, leicht verformbar und hat 4 Raststufen, die das Visier nicht fest arretieren; die Kanten sind unsauber bearbeitet. Das Visier schließt unterhalb mit einer relativ harten Kunststoffleiste ab, die als Dichtung fungieren soll. Aufgrund der leichten Verformbarkeit des Visiers, verkantet dieses oft beim Öffnen.

Die Helmschale besteht aus einem thermoplastischen Kunststoff und ist mit einer Klarlacklackierung versehen. Der Verschluss des Kinnriemens ist als Doppeldruckastenschloss ausgeführt. Eine mittig am Kinnbügel angebrachte, zentrale Druck-Schiebe-Taste gibt den Verschluss des klappbaren Kinnbügels frei. Der Kinnbügel rutscht im geöffneten Zustand leicht aus seiner Arretierung. Beim Schließen greifen die Kunststoffschließungen manchmal neben das Schloss.

Die Komfortpolsterung besteht aus 2 Wangenpolstern und eine Kopfpolsterung, die herausnehmbar sind. An der Schutzpolsterung ist eine Textilkaschierung angeklebt. Die Schutzpolsterung ist 2-teilig und besteht aus expandiertem Polystyrolhartschaum (EPS) (Abbildung 3-33), wobei das kleinere kalottenförmige Teil innen am Helmdom eingeklebt ist.



Abbildung 3-30: Nexo Modular, Frontal- und Seitenansicht

### **Belüftungssystem**

Die Belüftung des Gesichtsfeldes besteht aus einem zentral angeordneten Belüftungsgitter, das über einen Schieber geöffnet werden kann (Abbildung 3-31). Belüftungsöffnungen am Visier, werden teilweise von der Polsterung am Kinnbügel verschlossen. Es gibt am Kinnbügel keine Luftführungskanäle; der Luftstrom verteilt sich diffus hinter dem Kinnbügel.

Für die Kopfbelüftung sind zwei Kunststoffabdeckungen symmetrisch angebracht, deren Lufteintrittsöffnungen sich unmittelbar im Luftstrom befinden (Abbildung 3-32). Unterhalb der Kunststoffabdeckung gibt es jeweils zwei Bohrungen, eine dient zur Befestigung der Abdeckung, die andere ist **vor** der Lufteintrittsöffnung angebracht! Dadurch kann keine Luft bis zum Helminnenraum zirkulieren. In der Schutzpolsterung sind zwei Bohrungen im vorderen Bereich eingebracht, die aber nicht mit den Bohrungen in der Helmschale übereinstimmen. Weiter hinten am Helm gibt es zwei kleine Öffnungen, die nicht zu verschließen sind und dafür gibt es keine Luftführungskanäle.

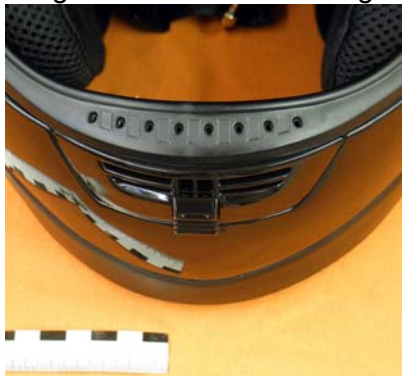


Abbildung 3-31: Gesichtsfeld- und Visierbelüftung



Abbildung 3-32: Kopfbelüftung mit einseitig demontierter Abdeckung



Abbildung 3-33: Schutzpolsterung; Pfeil zeigt in Fahrtrichtung



### Nexo Arizona

#### **Allgemeine Beschreibung**

Jethelm des Herstellers Nexo, Typ Arizona (UVP bei Helmbeschaffung ca. € 39,-). Das Gewicht ist mit  $1050 \pm 50$  gr angegeben, das tatsächliche Gewicht liegt jedoch bei 1200 gr.

Die Helmschale besteht aus einem thermoplastischen Kunststoff (ABS) und ist mit einer Klarlacklackierung versehen (Abbildung 3-34). Der Verschluss des Kinnriemens ist als Doppeldrucktastenschloss ausgeführt.

Die Komfortpolsterung besteht aus 2 Wangenpolstern und eine Kopfpolsterung, die herausnehmbar sind. An der Schutzpolsterung ist eine Textilkaschierung angeklebt. Die Schutzpolsterung ist 2-teilig und besteht aus expandiertem Polystyrolhartschaum (EPS) (Abbildung 3-35), wobei das kleinere kalottenförmige Teil innen am Helmdom eingeklebt ist.

Ein Schirm kann mit drei Druckknöpfen befestigt werden.



Abbildung 3-34: Nexo Arizona, Frontal- und Seitenansicht

#### **Belüftungssystem**

Der Helm hat keine zusätzlichen Belüftungsöffnungen für den Helminnenraum.



Abbildung 3-35: Ansicht in die Schutzpolsterung; Pfeil zeigt in Fahrtrichtung



Abbildung 3-36: Übersichtsaufnahme der Bestandteile nach Zerlegung

## **Schuberth S1**

### **Allgemeine Beschreibung**

Integralhelm des Herstellers Schuberth, Typ S 1 (UVP bei Helmbeschaffung ca. € 499,-). Ungetöntes Visier mit Antibeslagbeschichtung. Acht deutliche Raststufen, die vorletzte Stufe ist als Stadtstellung ausgelegt, die letzte Stufe verriegelt das Visier fest. Vollständig umlaufende und anliegende Dichtlippe.

Die Helmschale besteht aus einem duroplastischem Kunststoff (lt. Angabe des Herstellers: glasfaserverstärkte Spezial-Duroplast-Matrix). Vier Reflektoren an der Außenschale. Der Kinnriemen wird mit einem Drucktastenschloss verschlossen. Das Gurtband ist mit zwei weiteren Textilbändern am Hinterhauptsabschluss befestigt.

Die Komfortpolsterung besteht aus 2 Wangenpolstern und einer 4-teiligen (ein Kopfband und drei Kopfpads) herausnehmbaren Kopfpolsterung. Eine Textilkaschierung ist an der Schutzpolsterung nicht vorhanden. Am unteren Helmboden ist zusätzlich ein abnehmbarer „Akustikkragen“ angebracht, der den Helm zum Hals hin weitgehend abdichtet. Die Schutzpolsterung ist 3-teilig (expandierter Polystyrolhartschaum (EPS)) (Abbildung 3-39).



Abbildung 3-37: Schuberth S1, Frontal- und Seitenansicht

### **Belüftungssystem**

Die Belüftung für das Gesichtsfeld wird über eine zentral angebrachte Belüftungsklappe am Kinnenteil betätigt, die durch zahnförmige Öffnungen eine Zwangsbelüftung auch im geschlossenen Zustand ermöglicht (Abbildung 3-38). Mittels eines separaten, im Kinnenteil integrierten Kunststoffteils, welches als Luftführungskanal dient, wird der Luftstrom zum Visier geleitet.

Für die Kopfbelüftung sind auf der Helmschale drei Lufthutzen angebracht. Eine zentral angebrachte, verstellbare im vorderen Bereich, die als Lufteinlass dient und zwei, ca. 6cm dahinter, die für den Luftauslass vorhanden sind (Abbildung 3-37). An der Helmaußenschale sind 6 Bohrungen korrespondierend zu den Lufthutzen angebracht. In der Schutzpolsterung gibt es insgesamt 8 Bohrungen für die Lüftung und an der Außenseite sind Dichtlippen aufgeklebt, die die Schutzpolsterung zur Helmschale hin abdichten sollen (Abbildung 3-39). Der Verlauf des Luftstroms wird in Abbildung 3-40 gezeigt. Aufgrund der fehlenden Textilkaschierung und der „skelettierten“ Kopfpolsterung haben die Belüftungskanäle einen direkten Zugang zum Helminnenraum. Durch Versetzen der Kopfpads kann ebenfalls die Belüftung beeinflusst werden (Sommer-, Winteranpassung).



Abbildung 3-38: Draufsicht auf die Gesichtsfeldbelüftung



Abbildung 3-39: Schutzpolsterung mit Belüftung und Dichtlippe



Abbildung 3-40: Belüftungssystem, Schuberth S1, Quelle: Schuberth

## Schuberth C2

### Allgemeine Beschreibung

Klapphelm des Herstellers Schuberth, Typ C 2 (UVP bei Helmbeschaffung ca. € 399,-). Ungetöntes Visier mit Antibeslagbeschichtung und 5 deutlichen Raststufen. Für die Stadtstellung wird das Visier um ca. 5 mm nach vorne geschoben. Ober- und Unterhalb des Visiers verläuft eine Gummidichtung, die das Visier abdichtet. Die Helmschale besteht aus einem duroplastischem Kunststoff (nach Angabe des Herstellers: glasfaserverstärkte Spezial-Duroplast-Matrix). Zwei Reflektoren an der Außenschale. Der Verschluss des Kinnriemens ist als Drucktastenschloss ausgeführt. Das Gurtband ist mit zwei weiteren Textilbändern am Hinterhauptsabschluss befestigt. Das klappbare Kinnenteil wird mit einer an der linken Seite angebrachten Schiebetaste geöffnet. 2 integrierte Indikatoren informieren über eine erfolgte Arretierung. Die Komfortpolsterung besteht aus 2 Wangenpolstern und einer 2-teiligen herausnehmbaren Kopfpolsterung (ein Kopfband und ein Kopfpad). Eine Textilkaschierung ist nicht vorhanden. Am unteren Helmboden ist zusätzlich ein abnehmbarer „Akustikkragen“ angebracht, der den Helm zum Hals hin weitgehend abdichtet. Die Schutzpolsterung ist 3-teilig und besteht aus expandiertem Polystyrolhartschaum (EPS) (Abbildung 3-43).



Abbildung 3-41: Schuberth C2, Frontal- und Seitenansicht

### Belüftungssystem

Die Belüftung für das Gesichtsfeld wird über eine zentral angebrachte Belüftungsklappe am Kinnenteil betätigt, die durch zahnförmige Öffnungen, eine Zwangsbelüftung auch im geschlossenen Zustand ermöglicht (Abbildung 3-42). Als Luftführung dient das Kinnschutzpolster aus EPS, mittels dessen der Luftstrom zum (großen) Auslass am Visier fortgeleitet wird.

Für die Kopfbelüftung ist lediglich eine Lufthutze zentral auf der Helmschale angebracht, die durch einen kleinen Schiebeschalter bedient wird. Dazu gibt es in der Helmschale zwei 12mm große Bohrungen, die mit zwei Bohrungen in der Schutzschale übereinstimmen. Schutzpolsterung und Helmschale sind an der Stelle der Belüftungskanäle gegeneinander abgedichtet (Abbildung 3-44). An der Innenseite der Schutzpolsterung gibt es zwei offene Belüftungskanäle, die bis zum hinteren Helmboden führen (Abbildung 3-43). Aufgrund der fehlenden Textilkaschierung und der „skelettierten“ Kopfpolsterung haben die Belüftungskanäle einen direkten Zugang zum Helminnenraum. Durch Verdrehen des Kopfpads kann ebenfalls die Belüftung beeinflusst werden (Sommer-, Winteranpassung).



Abbildung 3-42: Draufsicht auf die Gesichtsfeldbelüftung



Abbildung 3-43: Schutzpolsterung u. Luftführungskanäle



Abbildung 3-44: Belüftungskanälen und Abdichtung

## **Schuberth J1**

### **Allgemeine Beschreibung**

Jethelm mit adaptierbaren Kinnschutzbügel des Herstellers Schuberth, Typ J 1 (UVP bei Helmbeschaffung ca. € 429,-).

Das Visier ist nicht getönt, hat eine Antibeschlagbeschichtung und 8 deutliche Raststufen. Die vorletzte Stufe ist als Stadtstellung ausgelegt, die letzte Stufe verriegelt das Visier fest.

Die Helmschale besteht aus einem duroplastischem Kunststoff (lt. Angabe des Herstellers: glasfaserverstärkte Spezial-Duroplast-Matrix). An der Außenschale sind insgesamt 4 Reflektoren aufgeklebt. Der Verschluss des Kinnriemens ist als Druckastenschloss ausgeführt. Das Gurtband ist mit zwei weiteren Textilbändern am Hinterhauptsabschluss befestigt.

Der Kinnschutzbügel besteht aus duroplastischem Kunststoff ( $\varnothing$  ca. 15 mm) und wird zur Arretierung in die Verschlussöffnungen am unteren Helmrand eingeschoben (Abbildung 3-45).

Die Komfortpolsterung besteht aus 2 Wangenpolstern und einer 4-teiligen Kopfpolsterung, die herausnehmbar ist. Die Kopfpolsterung setzt sich aus einem Kopfband und 3 Kopfpads zusammen. Eine Textilkaschierung ist nicht vorhanden. Die Schutzpolsterung ist 3-teilig und besteht aus expandiertem Polystyrolhartschaum (EPS).



Abbildung 3-45: Schuberth J1, Frontal- und Seitenansicht

### **Belüftungssystem**

Es gibt keine Belüftung für das Gesichtsfeld.

Die Kopfbelüftung ist ähnlich der Kopfbelüftung beim Schuberth S 1. Auf der Helmschale sind drei Lüftutzen angebracht (Abbildung 3-46). Eine zentral angebrachte im vorderen Bereich, die verstellbar ist und als Lufteinlass dient und zwei, ca. 6 cm dahinter, die für den Luftauslass da sind. In der Helmaußenschale gibt es vorne für den Lufteinlass eine Öffnung (5 x 26 mm) und weiter hinten 4 Bohrungen  $\varnothing$  8 mm für den Luftauslass (Abbildung 3-47).

In der Schutzpolsterung gibt es insgesamt 8 Bohrungen für die Lüftung und an der Außenseite sind Dichtlippen aufgeklebt, die die Schutzpolsterung zur Helmschale hin abdichten sollen (Abbildung 3-39). Der Verlauf des Luftstroms wird in Abbildung 3-40 gezeigt. Aufgrund der fehlenden Textilkaschierung und der „skelettierten“ Kopfpolsterung haben die Belüftungskanäle einen direkten Zugang zum Helminnenraum. Durch Versetzen der Kopfpads kann ebenfalls die Belüftung beeinflusst werden (Sommer-, Winteranpassung).



Abbildung 3-46: Draufsicht auf das Kopfbelüftungssystem



Abbildung 3-47: Draufsicht auf das Kopfbelüftungssystem bei demontierter Lüftutze

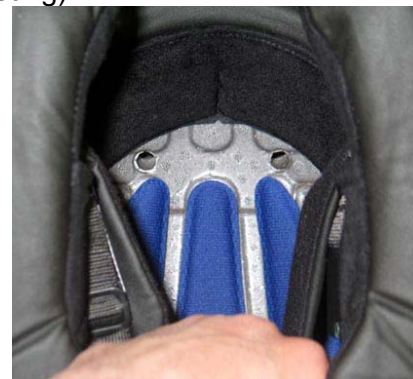


Abbildung 3-48: Belüftungsöffnungen und Komfortpolsterung

## **Shoei XR 1000**

### **Allgemeine Beschreibung**

Integralhelm des Herstellers Shoei, Typ XR 1000 (UVP bei Helmbeschaffung ca. € 399,-). Ungetöntes, Beschlag hemmendes Visier mit deutlichen Raststufen, deren letzte das Visier fest verriegelt. Eine doppelte Dichtlippe verläuft vollständig um das Visier und liegt überall an. Ein kleiner Hebel, der seitlich am Scharnier angebracht ist, ermöglicht Stadtstellung und zusätzliche Arretierung im geschlossenen Zustand.

Die Helmschale besteht aus duroplastischem Kunststoff (GFK). An der Außenschale sind vorne und hinten Reflektoren aufgeklebt. Beidseitig jeweils einfach vernieteter 25mm breiter Nylon-Kinnriemen mit Doppel-D-Ring Verschluss. Die Komfortpolsterung besteht aus zwei herausnehmbaren Wangenpolstern (erhältlich in verschiedenen Größen) und einer eingeklebten Kopfpolsterung. Im Kalottenbereich der Komfortpolsterung sind größere Ausschnitte zur direkteren Wirksamkeit der Belüftung vorhanden.

Am unteren Helmrand kann ein zusätzlicher „Helmkragen“ (Shoei: Whisper Strip Kit) angebracht werden, der den Helm zum Hals hin weitgehend abdichtet (Abbildung 3-52).

Die Schutzpolsterung ist 2-teilig und besteht aus expandiertem Polystyrolhartschaum (EPS).



Abbildung 3-49: Shoei XR 1000, Frontal- und Seitenansicht

### **Belüftungssystem**

Die Belüftung für das Gesichtsfeld wird über eine zentral angebrachte und unmittelbar im Luftstrom befindliche Belüftungsklappe am Kinnenteil betätigt (Abbildung 3-50). An der Innenseite des Kinnbügels ist ein Kunststoffgehäuse zur Luftführung angebracht.

Für die Kopfbelüftung sind auf der Helmschale im Stirnbereich 2 verstellbare Lufthutzen über den ovalen, ca. 5 x 11 mm messenden Bohrungen für den Lufteinlass angebracht und im hinteren Bereich des Helmes, im Spoiler integriert, 2 verschließbare Öffnungen (Ø 11 mm) für den Luftauslass (Abbildung 3-51). Die Belüftungsöffnungen im Stirnbereich haben je eine korrespondierende Bohrung in der Schutzpolsterung, die direkt zum Helminneren verläuft. Zur definierten Leitung des Luftstromes ist eine Schaumstoffabdichtung zwischen Helmaußenschale und Schutzpolster angebracht. An der Innenseite der Schutzpolsterung verlaufen vom Stirnbereich bis zum unteren Helmrand parallel liegende (Abstand ca. 40 mm), halb-kreisförmige Vertiefungen zur Unterstützung der Luftführung. Die Entlüftungsöffnungen im Hinterhauptsbereich haben je eine korrespondierende Bohrung, die sich innerhalb der Schutzpolsterung (an dem eingesetzten Teil im Helmdom) verzweigt und einerseits geradlinig zum Hinterhauptsbereich führt, andererseits ca. 60 mm weiter bis zur Kopfmittle.



Abbildung 3-50: Gesichtsfeldbelüftung



Abbildung 3-51: Öffnungen für den Luftauslass der Kopfbelüftung



Abbildung 3-52: Whisper Strip Kit

### Lidl B-Square

Integralhelm des Vertreibers Lidl, Hersteller / Typ B-Square (UVP bei Helmbeschaffung ca. € 35,-).

Das Visier ist nicht getönt, hat keine Raststufen, verhakt beim Öffnen, ist in der geschlossenen Position nicht sicher arretiert und die sehr harte Kunststofflippe dichtet aufgrund hoher Spaltmaße nicht ab.

Die Helmschale besteht aus einem thermoplastischen Kunststoff und hat keine Reflektoren. Der Verschluss des Kinnriemens ist als Druckastenschloss ausgeführt, der schwierig zu bedienen ist und unter Zugbelastung **nicht** geöffnet werden kann!

Die Komfortpolsterung besteht aus 2 Wangenpolstern und einer nur 4mm dicken Kopfpolsterung. An der Innenseite der Schutzpolsterung ist eine Textilkaschierung aufgeklebt.

Die Schutzpolsterung ist 1-teilig und besteht aus expandiertem Polystyrolhartschaum (EPS).



Abbildung 3-53: Lidl B-Square, Frontal- und Seitenansicht

### **Belüftungssystem**

Die Belüftung für das Gesichtsfeld wird über einen zentralen Schiebeschalter am Kinnteil betätigt, wodurch 4 Öffnungen freigegeben werden. Hinter der Helmaußenschale gibt es aber keine Luftführungskanäle und aufgrund der Kunststofflippe an der Visieröffnung, die den Spalt zwischen Helmaußenschale und Kinnschutzpolsterung fast vollständig verschließt, kann kaum Luft zum Visier strömen (Abbildung 3-56).

Es gibt keine Kopfbelüftung. An der Helmaußenschale ist oberhalb des Visiers zentral eine Abdeckung angebracht, die dem Motorradfahrer suggeriert, dass durch Betätigung des Schiebeschalters, wodurch 6 Öffnungen in der Abdeckung aufgeschoben werden, Luft zum Helminnenraum einströmen kann (Abbildung 3-53). Jedoch sind weder in der Helmaußenschale noch in der Schutzpolsterung Belüftungsbohrungen vorhanden (Abbildung 3-54 und Abbildung 3-55). Die Bohrungen, die in Abbildung 3-54 dargestellt sind, dienen lediglich zur Befestigung der Abdeckung.

Hinten am unteren Helmboden sind symmetrisch zwei kleine Öffnungen in der Helmaußenschale angebracht, für die aber ebenfalls keine korrespondierenden Bohrungen in der Schutzpolsterung vorhanden sind.



Abbildung 3-54: Helmaußenschale mit demontierter Abdeckung



Abbildung 3-55: Schutzpolsterung; Pfeil zeigt in Fahrtrichtung



Abbildung 3-56: Gesichtsfeldbelüftung; Ansicht von oben



## 4 MESSMITTEL UND MESSGRÖßEN

### 4.1 Projektmotorrad

Für die Versuche im Windkanal sowie die systematischen Fahrversuche wurde ein Kraftrad, Typ GSF 650 (Bandit, unverkleidet, Typ J) des Herstellers Suzuki, ausgerüstet mit ABS, Erstzulassung 03 2005 eingesetzt (Abbildung 4-1).

Das Projektmotorrad sollte eine möglichst verwirblungsfreie Anströmung der Projekthelme gewährleisten, damit die Verfälschung der ermittelten Werte durch das Fahrzeug möglichst gering ist und die Messwerte zu den Helmen auf andere Fahrzeuge übertragen werden können.

Daher wurde ein unverkleidetes Motorrad „Naked-Bike“ ausgewählt. Die Motorleistung musste die max Untersuchungsgeschwindigkeit von 160 km/h zwanglos und zügig ermöglichen. Aus Gründen der Sicherheit wurde ein mit ABS ausgestattetes Projektmotorrad gewählt.



Abbildung 4-1: Projektmotorrad, Suzuki Bandit 650 / ABS

In mehreren Versuchsfahrten wurde der Tachometer des Projektmotorrads kalibriert. Die Kalibrierstrecke betrug 2000 m. Die zum Durchfahren der Kalibrierstrecke benötigte Zeit wurde durch eine am Fahrzeug angebrachte Stoppuhr ermittelt. Die am digitalen Tachometer abgelesene Geschwindigkeit des Projektmotorrads wurde über der Kalibrierdistanz konstant gehalten. Das Ergebnis von Mittelwerten der Kalibrierung ist der untenstehenden Abbildung zu entnehmen.

Geschwindigkeit lt. Tachometer [km/h]	Länge der Kalibrierstrecke [m]	Ermittelte Zeit [s]	Tatsächliche Geschwindigkeit [km/h]
<b>85 km/h</b>	2000 m	89,3 s	<b>80,60 km/h</b>
<b>126 km/h</b>	2000 m	60,5 s	<b>119,01 km/h</b>
<b>160 km/h</b>	2000 m	46,6 s	<b>154,51 km/h</b>
<b>166 km/h</b>	2000 m	45,1 s	<b>159,65 km/h</b>

Tabelle 4-1: Projektmotorrad, Tachometerkalibrierung



#### 4.1.1 Messtechnik am Projektmotorrad

Um die erforderliche Versuchstechnik zu vervollständigen, wurden am Versuchsfahrzeug der Markerschalter sowie ein Geschwindigkeitssensor als Wertegeber für die Zentraleinheit der PPLBP installiert. Weiterhin ist für die bildliche Dokumentation der Versuche eine Digitalkamera mittels einer Halterung an der Lenkstange des Fahrzeugs befestigt.

##### 4.1.1.1 Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeit des Versuchsfahrzeugs wird über die Drehzahl des Hinterrades ermittelt. Ein an der Schwinge des Motorrads befestigter Sensor misst berührungslos die für eine Radumdrehung benötigte Zeit, als Sensorgeber dient ein in der Felge befestigter Dauermagnet.



Abbildung 4-2: Geschwindigkeitssensor am Hinterrad

Die aktuelle Geschwindigkeit ergibt sich aus der Division des Radaußenumfangs (2,01 m) mit der gemessenen Zeit für eine Radumdrehung.

$$v.[km/h] = \frac{\text{Radumfang}.[m]}{\text{Zeit}.[ms]} \times 3600$$

##### 4.1.1.2 Marker

Zu definierten Zeitpunkten / Versuchsphasen, wurden Markerpunkte von der Vp gesetzt, um die Bereiche bei der Auswertung wieder identifizieren zu können. Der Markerschalter war in einem Metallkasten (Abbildung 4-4 li.) an der linken Seite der Lenkstange des Versuchsfahrzeugs montiert und so gestaltet, dass dieser mit dem Daumen der linken Hand (auch mit Handschuhen) betätigt werden konnte. Die Kabelverbindung zwischen dem am Projektmotorrad befestigten Marker-Taster und der PPLBP im Rucksack der Versuchsperson wurde durch eine zwischengeschaltete leicht lösbare Kabel-Steckverbindung (Abbildung 4-4 re.) gegen Beschädigung geschützt.



Abbildung 4-3: Marker Tastschalter an der Lenkstange montiert



Abbildung 4-4: Lösbare Kabel-Steckverbindung

### Datenaufbereitung

Die Markerzeiten werden als Echtzeitwerte und als Zeitpunkte ab Start der Messung in ms zusammen mit der Datei der Messwerte abgespeichert. Falsche oder fehlende Marker wurden nach Abschluss des Versuches handschriftlich in dem Versuchsprotokoll vermerkt, damit diese während der Auswertung korrigiert werden konnten. Insgesamt wurden je nach Versuch bis zu 15 Marker gesetzt.

Bei der Aufbereitung der Daten wurden die Markerzeiten von allen Vpn und Helmen in einer Datei zusammengefasst, um diese auf Fehler zu überprüfen und ggf. zu korrigieren. Die einzeln ausgewerteten Dateien wurden mit der Markerdatei verknüpft, so dass Änderungen zentral vorgenommen werden konnten und automatisch in den erforderlichen Dateien modifiziert wurden.

In Abbildung 4-5 sind exemplarisch die eingetragenen Marker eines ausgewählten Versuches wiedergegeben (bei 80 km/h für die Belüftungsmessung, bei 120 km/h für die Akustikmessung sowie in den 5 festgelegten Körperpositionen (in x-z Ebene, fahrzeugfest) und bei 160km/h für die EMG-Messungen in den 4 Kopfpositionen). Anfang und Ende des Versuches sind durch einen Marker identifizierbar, wobei zu diesem Zeitpunkt auch die Kalibrierung der Geräuschpegelmesskette erfolgte.

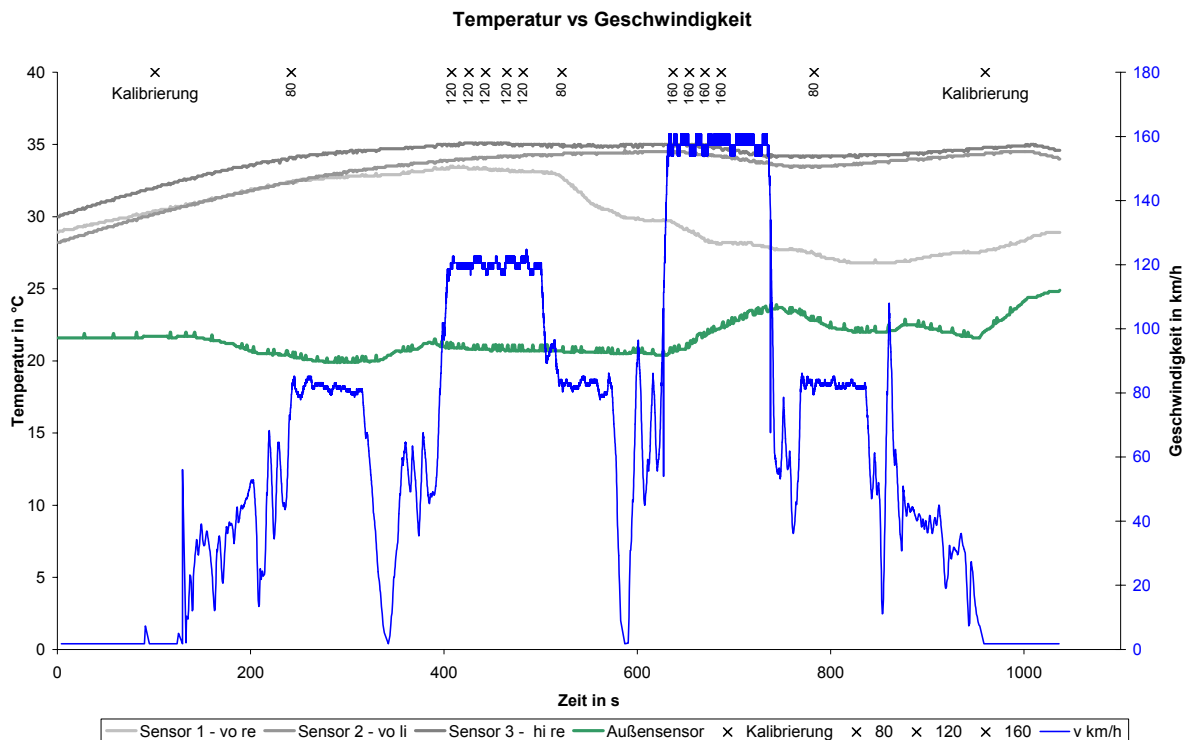


Abbildung 4-5: Gesamter Versuchsablauf als Beispiel für die eingetragenen Marker

Nachdem sich in den Vorversuchen herausgestellt hatte, dass durch eine zu lange Betätigung des Tasters mehrere Markersignale generiert werden können, wurde die Software der PPLBP Zentraleinheit insoweit abgeändert, dass der kürzeste Abstand zwischen zwei Markersignalen mindestens 2,8 Sekunden betrage.

#### 4.1.2 Lichtbilddokumentation am Projektmotorrad

Für die Lichtbilddokumentation bei den systematischen Fahrversuchen wurde die Digitalkamera „Canon PowerShot G3“ mit Infrarot Fernauslöser verwendet, die über 4 Millionen Pixel, Autofokus sowie Programmautomatik der Belichtungssteuerung verfügt, sodass Aufnahmen (Einzelbilder und kurze Videosequenzen) auch während der Motorradfahrt durch einfache Auslösung durch den Projektfahrer gemacht werden konnten.

Hierzu wurde eine stabile Kamerahalterung gebaut und am Motorrad angebracht, um somit die Kamera wie gewünscht einzustellen und zuverlässig zu befestigen (Abbildung 4-6).



Abbildung 4-6: Lenkerhalterung mit Digitalkamera am Projektmotorrad

## 4.2 Windkanal

Im Windkanal der Fa. Schubert Engineering AG, Braunschweig werden seit 1986 systematisch Helme unter reproduzierbaren Bedingungen untersucht und optimiert.

Mit erreichbaren Maximalgeschwindigkeiten von bis zu 230 km/h (kurze Messstrecke) bei einer Antriebsleistung von 120 kW und seiner gut zugänglichen, offenen Messstrecke von 1 m x 1 m Querschnitt stellt der Windkanal ein handliches und leistungsfähiges Entwicklungswerkzeug dar, in dem die Umströmung des Helms und seines Nahfeldes, d. h. Oberkörper, Lenker/Armaturen/Frontscheibe realitätsnah abgebildet werden kann.

Eine Übersichtsdarstellung ist in Abbildung 4-7 gegeben.

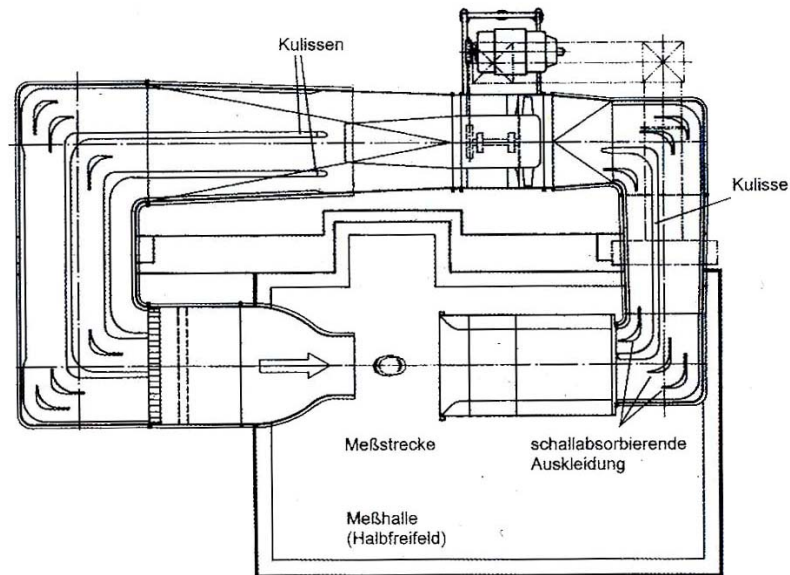


Abbildung 4-7: Prinzipskizze des Aeroakustik-Windkanal der Schubert Engineering AG

Mit dem Umbau zum Akustik-Windkanal wurde 1999 die Möglichkeit geschaffen, auch die Helmakustik systematisch zu untersuchen und neue akustische Optimierungsmethoden zu entwickeln und zu implementieren.

Der Eigengeräuschpegel ("Out-of-Flow") liegt bei 100 km/h Strömungsgeschwindigkeit bei 55 dB(A) und somit sehr weit unterhalb des Innengeräusches marktüblicher Helme.



Abbildung 4-8: Übersichtsaufnahme Windkanal mit Messtechnik

### 4.3 Messkette psychophysiologischer Leistungs- und Befindlichkeitsparameter

Die projektrelevanten, individuellen Belastungs- und Befindlichkeitsparameter der Vpn werden mittels einer autonomen, mobilen, achtkanaligen Messkette, bestehend aus der Zentraleinheit und der u. g. Peripherie zur Erfassung und Speicherung psycho-physischer Leistungs- und Befindlichkeitsparameter (PPLBP) aufgenommen. Diese Messkette ist in der Lage, mittels adaptierter Peripherie (Messkettenmodule - MKM) u. a. Elektrokardiogramme (EKG), Elektromyogramme (EMG), elektrodermale Aktivitäten (EDA) sowie Körpertemperaturen (t) über die Zentraleinheit zu erfassen, anzuzeigen und auslesbar zu speichern. Hierbei wird die Belastung des Projektfahrers (Vpn) als individuelle Beanspruchung objektiv wiedergegeben.

#### 4.3.1 Aufbau der Messkette

Die Messkette zur Erfassung psychophysiologischer Leistungs- und Befindlichkeitsparameter (PPLBP) besteht aus einer Zentraleinheit (Datenlogger) und verschiedenen Messkettenmodulen (siehe Abbildung 4-11: Prinzipskizze der Messkette PPLBP). Die Zentraleinheit ist ein achtkanaliges Datenerfassungs- und Aufzeichnungsgerät, der Fa. Dr. Maus Elektronik, Frankenthal – siehe Technisches Datenblatt BIOPAC (im Anhang). Folgende Messkettenmodule (MKM) kommen im Laufe der Untersuchungen zum Einsatz:

- MKM – EKG (Elektrokardiogramm)
- MKM – EMG (Elektromyogramm)
- MKM – EDA (Elektrodermalanalyse)

zzgl. zuzuordnender Klebeelektroden (Hersteller 3M; Red Dot / 2248; d = 25mm)

Ferner:

- MKM – Temperatur (7 Sensoren)
- MKM – Raddrehzahl (siehe unten)

Folgende Hard- und Software wird für Einstellungen der Parameter, Auslesen und Auswerten der gewonnenen Daten verwendet:

- Interface (zum Auslesen der Messwerte)
- Notebook
- BIOLINK (Software zur Datenübertragung und Einstellung der Parameter)
- BIOMON (Software für eine erste Auswertung der erhobenen Daten). Für die weitere und genauere Datenauswertung werden die Programme Excel und SPSS genutzt.

Der achte Kanal des Messgerätes kann geteilt werden, sodass ein virtueller neunter Kanal für die Markeraufzeichnung entsteht (vgl. Kanalbelegung/Geräteeinstellungen).



Abbildung 4-9: Zentraleinheit (Datenlogger)



Abbildung 4-10: Zentraleinheit li. Seite: Anschlussbuchsen für 8 Kanäle plus Fernmarker

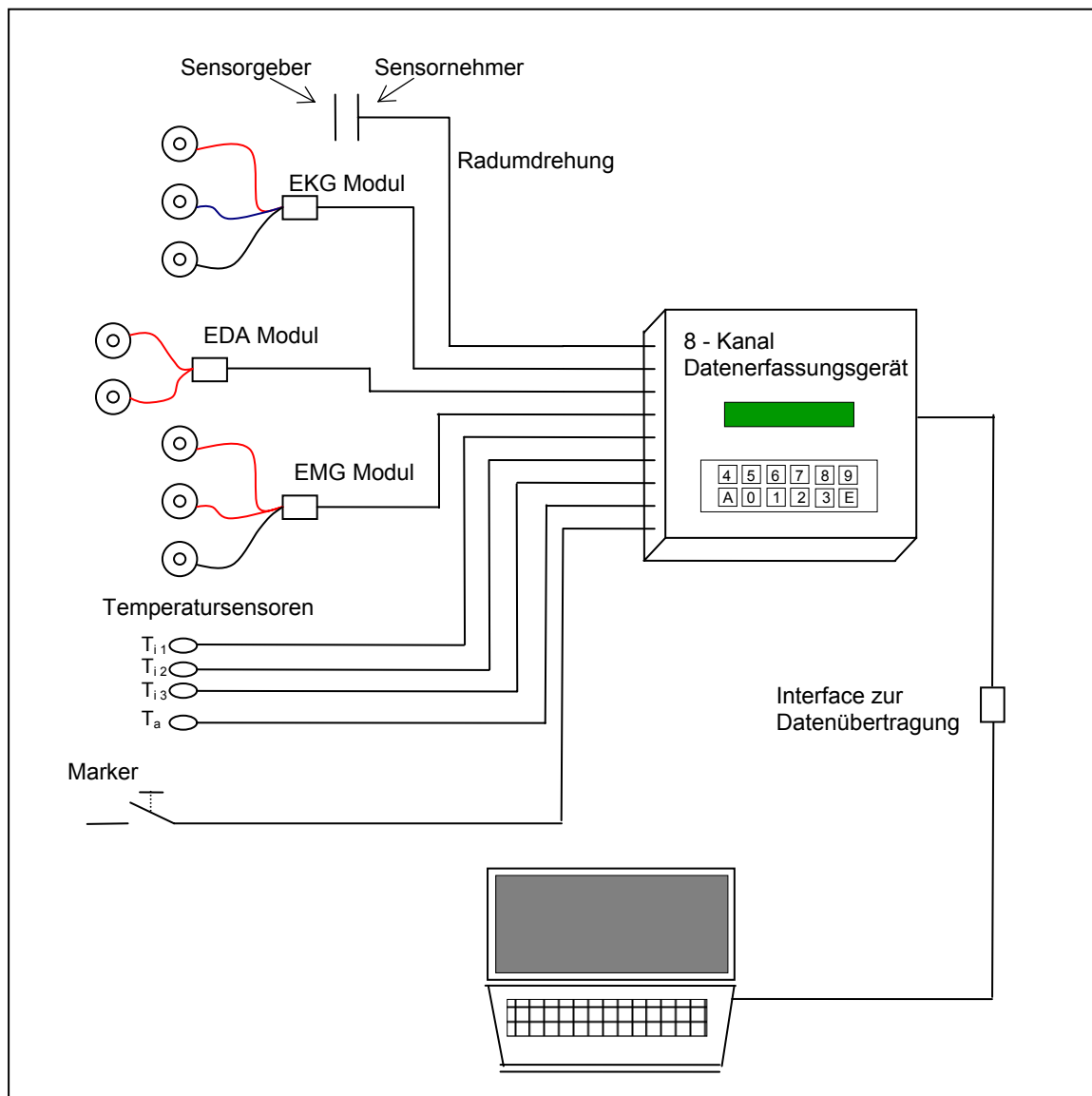


Abbildung 4-11: Prinzipskizze der Messkette PPLBP

Die Zentraleinheit der Messkette PPLBP hat einen integrierten Datenspeicher, auf dem die Werte zwischengespeichert werden. Der gesamte Speicher hat eine Größe von 1 MByte, wovon aber ca. 64 kByte für das Betriebssystem benötigt werden. Ein Messwert nimmt 2 Byte in Anspruch und ein Marker 6 Byte, wodurch insgesamt ca. 480000 Messwerte gespeichert werden können.

Nach jedem Versuchsintervall werden diese Daten, die ein spezielles Format haben (\*.bio), mit der Software (BIOLINK) ausgelesen und auf einem Notebook gespeichert. Zur schnellen Vorauswertung bzw. zur Kontrolle der Messwerte steht das Softwaretool (BIOMON) zur Verfügung. Dieses Programm findet auch Verwendung bei der Umwandlung der (\*.bio-) Messwerte in ASCII Dateien. Zur weiteren statistischen Auswertung werden die ASCII Dateien für die Bearbeitung in Microsoft Excel konvertiert.

Zur sicheren Unterbringung der Messtechnik an der Versuchsperson werden alle Kabel unter der Kleidung auf solche Art und Weise verlegt, dass sie gebündelt über den Jackenkragen nach hinten in einen speziell präparierten Rucksack verlaufen (siehe Abbildung 4-12).



Abbildung 4-12: Befestigung der PPLBP Messkette an der Vp

Weitere Bestandteile und Hilfsmittel der Messkette sind:

- Befestigungseinheit für die Temperaturmessaufnehmer am Kopf der Versuchsperson
- Rucksack
- Leukosilk (zur Zugentlastung der Messelektroden)
- 70prozentiger Alkohol (zur Reinigung und Entfettung der Haut vor dem Aufkleben der Elektroden)

### Kanalbelegung im Windkanal

Jedem Kanal der PPLBP Messkette wurde eine spezifizierte Einstellung zur Abtastrate und zum Abtastmodus zugewiesen. Die Abtastraten können entweder analog, d. h. in festgelegten Schritten gespeichert werden, oder im Intervallmodus, d. h. ereignisabhängig abgefragt und gespeichert werden.

Wird die Abtastrate zu gering gewählt, ist unter Umständen die erforderliche Auflösung nicht mehr gegeben. Ist die Abtastrate aber zu hoch, reicht je nach Versuchslänge, die bis zu 40 min betragen kann, der zur Verfügung stehende Messspeicher nicht aus. Weiterhin ist auch der maximale Datenfluss pro Sekunde begrenzt, da der Prozessor maximal 1000 Werte pro Sekunde aufnehmen kann.

Im Windkanal wurde folgende Kanalbelegung und Abtastrate angewendet:

Kanalnummer	Funktion	Modus	Zeitbasis (in ms)
Kanal 1:	EKG	Intervallzeit	1
Kanal 2:	EMG rechts	Analog	100
Kanal 3:	EMG links	Analog	100
Kanal 4:	EDA	Analog	1000
Kanal 5:	Temperatur Innensensor Nr. 1	Analog	1000
Kanal 6:	Temperatur Innensensor Nr. 2	Analog	1000
Kanal 7:	Temperatur Innensensor Nr. 3	Analog	1000
Kanal 8:	Temperatur Außensensor	Analog	1000
Kanal 9:	Marker	Marker	1

Tabelle 4-2: Kanalbelegung der Messkette bei den Windkanalversuchen

Kanalbelegung bei den systematischen Versuchen Teil 1

Im Vergleich zu den Windkanalversuchen änderte sich z. T. die Kanalbelegung der Messkette zur Bestimmung physiologischer Größen. Einer der 8 verfügbaren Kanäle wurde mit der Drehzahlbestimmung (am Motorradhinterrad) belegt; aus diesem Grunde konnte die ursprünglich symmetrisch geplante EMG-Messung nur auf der rechten Seite ausgeführt werden.

Kanalnummer	Funktion	Modus	Zeitbasis (in ms)
Kanal 1:	Drehzahlmessung Hinterrad	Intervallzeit	1
Kanal 2:	EKG	Intervallzeit	1
Kanal 3:	EDA	Analog	1000
Kanal 4:	EMG rechts	Analog	100
Kanal 5:	Temperatur Innensensor Nr. 1	Analog	1000
Kanal 6:	Temperatur Innensensor Nr. 2	Analog	1000
Kanal 7:	Temperatur Innensensor Nr. 3	Analog	1000
Kanal 8:	Temperatur Außensensor	Analog	1000
Kanal 9:	Marker	Marker	1

Tabelle 4-3: Kanalbelegung der Messkette bei den systematischen Versuchen Teil 1

Kanalbelegung bei den systematischen Versuchen Teil 2

Im zweiten Teil der systematischen Fahrversuche wurde eine differenziertere Erfassung der Helminnentemperatur vorgenommen, wodurch 7 der 8 Kanäle für die Temperatursensoren benötigt wurden. Der erste Kanal diente, wie auch in den vorangegangenen systematischen Fahrversuchen Teil 1, für die Erfassung der Fahrgeschwindigkeit, indem die Raddrehzahl am Hinterrad ermittelt wurde.

Kanalnummer	Funktion	Modus	Zeitbasis (in ms)
Kanal 1:	Drehzahlmessung Hinterrad	Intervallzeit	1
Kanal 2:	Temperatur Innensensor Nr. 1	Analog	1000
Kanal 3:	Temperatur Innensensor Nr. 2	Analog	1000
Kanal 4:	Temperatur Innensensor Nr. 3	Analog	1000
Kanal 5:	Temperatur Innensensor Nr. 4	Analog	1000
Kanal 6:	Temperatur Innensensor Nr. 5	Analog	1000
Kanal 7:	Temperatur Innensensor Nr. 6	Analog	1000
Kanal 8:	Temperatur Außensensor	Analog	1000
Kanal 9:	Marker	Marker	1

Tabelle 4-4: Kanalbelegung der Messkette bei den systematischen Versuchen Teil 2

Kanalbelegung bei den systematischen Versuchen Teil 3

Der erste Kanal diente mittels Drehzahlmessung am Hinterrad zur Bestimmung der gefahrenen Geschwindigkeit. Auf Kanal 2 und Kanal 3 wurden die EMG Werte aufgezeichnet jeweils mit einer Frequenz von 10Hz. Im Gegensatz zu den vorangegangenen Versuchen wurde bei diesen Versuchen zusätzlich die Beschleunigung am Helm in X-Richtung (also einachsig) erfasst.

Kanalnummer	Funktion	Modus	Zeitbasis (in ms)
Kanal 1:	Drehzahlmessung Hinterrad	Intervallzeit	1
Kanal 2:	EMG rechts	Analog	100
Kanal 3:	EMG links	Analog	100
Kanal 4:	Beschleunigung	Analog	100
Kanal 5:	Marker leer	Marker	1

Tabelle 4-5: Kanalbelegung der Messkette bei den systematischen Versuchen Teil 3



### 4.3.2 Psychophysiologische Indikatoren mentaler Beanspruchung

In der Psychophysiologie werden (bei Menschen) mittels nicht-invasiver Ableitungsmethoden physiologische Signale an Versuchspersonen erfasst. Diese Messungen können ein Maß für die Aktivität des Gehirns (EEG), des somatischen Nervensystems (EMG, EOG) oder des vegetativen Nervensystems (EDA, HR, HRA) wiedergeben.

#### 4.3.2.1 Pulsfrequenz (PF)

Die Pulsfrequenz (Anzahl der Herzschläge pro Minute, auch Herzrate) wird in der Psychophysiologie am häufigsten als Indikator für das kardiovaskuläre Geschehen hinzugezogen. Für die Messung der Pulsfrequenz sprechen Artefaktresistenz, einfache Ableitung und gute Interpretierbarkeit der Ergebnisse. Physische oder psychische Einflüsse werden schnell mit einer Herzratenänderung beantwortet. Ein Anstieg erfolgt bei physischer oder psychischer Belastung, Schmerz- und Angstreizen; eine Abnahme bei Entspannung, Orientierung, Aufmerksamkeitsprozessen. Die Herzratenänderung wird von verschiedenen Mechanismen aktiviert, von denen Sympathikus und Parasympathikus die Wesentlichen darstellen.

#### 4.3.2.2 Sinusarrhythmie (SA)

Untersuchungen zum Herzfrequenzverhalten haben gezeigt, dass bei mentaler Belastung die Sinusarrhythmie (auch Herzratenvariabilität, HRV) abnimmt. Bei psychisch und physisch unbelasteten Vpn variieren die Abstände der R-Zacken in einem gewissen Bereich, der außerhalb von pathologischen Zuständen liegt. Es ist nicht ganz geklärt, durch welche Mechanismen die Sinusarrhythmie entsteht, vermutlich stellt sie eine Folge präziserer zentralnervöser Herzfrequenzsteuerung bei Anspannung dar. Die SA kann mittels verschiedener Verfahren zur Frequenzanalyse (Fast Fourier Transformation, Autoregressive Verfahren, Wavelet-Transformation, trigonometrische regressive Spektralanalyse) dargestellt werden, wobei derzeit Uneinigkeit darüber besteht, welches das brauchbarste Verfahren sei.

Da die SA zahlreichen Variablen unterliegt, die bereits schwer in Laborversuchen eingehalten werden können, war anfangs nicht sicher, ob die Auswertung der SA bei Versuchen auf dem Motorrad zu brauchbaren Ergebnissen führen kann. Insbesondere Bewegungsartefakte, die bei der Aufzeichnung des EKG vorlagen, verfälschten die Auswertung. In der vorliegenden Arbeit wurde die SA berechnet, indem die absoluten Änderungen der letzten 60 Werte aufsummiert wurden.

#### 4.3.2.3 Elektromyogramm (EMG)

Mit der Elektromyographie kann die Muskelspannung gemessen werden und anschließend ein Elektromyogramm (EMG) aufgezeichnet werden. Hierzu werden Oberflächenelektroden auf den entsprechenden Muskel aufgeklebt, die die Muskelaktionspotentiale im erregten Muskel registrieren. Diese elektrische Aktivität korreliert hoch mit der tatsächlichen Muskelanspannung. Während mit dem EMG oftmals die Muskelaktionspotentiale der Nackenmuskulatur und damit die psychische Erregung der Vp gemessen wird, wird im vorliegenden Bericht die quergestreifte – und somit willentlich beeinflussbare – Muskulatur des Musculus sternocleidomastoideus gemessen.

Bei der Interpretation müssen zum einen intraindividuelle Unterschiede, z. B. die ausgeprägte Abhängigkeit des Signals von der Position der Elektroden (Reliabilität) und Auswirkungen durch den Grad der Ermüdung des Muskels, zum anderen generelle interindividuelle Unterschiede, die u. a. von Größe und Masse des zu messenden Muskels abhängig sind (Pinel 1997), beachtet werden.

#### 4.3.2.4 Elektrodermale Aktivität (EDA)

Die elektrodermalen Reaktionsmaße beschreiben Leitfähigkeits- sowie Potentialänderungen der Haut, die wiederum mit psychischen Prozessen zusammenhängen und vorliegend als Indikator bezüglich situativer Befindlichkeiten (emotionale Reaktionen, mentales Wohlbefinden / mentales Unbehagen) dienen sollen. Die Anzahl spontaner Hautleitwertsreaktionen pro Zeiteinheit, kann als Parameter für die oben aufgeführten Zusammenhänge herangezogen werden.

Zur Erfassung der elektrodermalen Aktivität werden i. d. R. zwei Oberflächenelektroden an der (nicht-dominanten) Handinnenfläche aufgeklebt, durch die ein unmerklicher Strom fließt. Diese Hautleitfähigkeit ist nicht zeitlich konstant, sondern hängt von mentaler Aktivität, Atemvorgängen, der Einwirkung von Stressreizen und anderen Variablen ab.

Erste Untersuchungen zur elektrodermalen Aktivität wurden schon vor über 120 Jahren durchgeführt (Luchsinger 1878). Neben den kardiovaskulären Indikatoren hat die Messung der elektrodermalen Aktivität wohl die weiteste Verbreitung in der Psychophysiologie gefunden. Die häufige Verwendung dieser Methode liegt mit Sicherheit auch an dem geringen apparativen Aufwand der Messung. Jedoch gelten die psychophysiologischen Mechanismen keineswegs als vollständig verstanden (Boucsein 1988). Nach Schandry 1998 spielen dabei die Schweißdrüsen der Haut die Hauptrolle, obwohl vermutlich auch andere Strukturen an der Änderung der Hautleitfähigkeit beteiligt sind.

### 4.3.3 Durchführung der Messung

#### 4.3.3.1 *Elektrokardiogramm*

Bei der Messung des EKG werden mittels drei Klebeelektroden die RR-Intervallzeiten gespeichert. Der Einsatz des EKG-Moduls ist vorgesehen zur Ableitung eines („kleinen“) EKG, aus dessen Verlauf insbesondere die RR-Intervallzeit bzw. die Pulsfrequenz abgeleitet werden kann. Zur Formanalyse des EKG ist das Modul nicht geeignet, da Filter und Verstärkung speziell zur Gewinnung einer deutlich ausgeprägten R-Zacke ausgelegt sind und nicht für eine formtreue Wiedergabe des EKG. Die Besonderheit bei dieser Art der EKG Messung liegt darin, dass eine kontinuierliche Messung vorliegt, die weitere Informationen wie Sinusrhythmie und Atemfrequenzkurve wiedergeben kann. Messungen mit einfachen Pulsmetern sind nur scheinbar sicherer und stabiler. Die Messbedingungen bei einem ruhenden Patienten (z. B. beim Entspannungstraining oder aber auch auf dem Fahrradergometer, wo der Körper nur wenig bewegt wird) sind vergleichsweise günstig. Auch wird in diesen Fällen die Pulsfrequenz meist gemittelt und Schwankungen werden geglättet, so dass die Messung sehr störungsfrei und ruhig erscheint. Die tatsächlich vorhandenen Schwankungen des RR-Intervalls können dann nicht mehr erfasst werden.

#### Funktionsweise

Die Ableitung des EKG erfolgt mittels dreier Klebeelektroden (zwei differenzielle Messstellen und eine Erdung) über das EKG-Modul (Abbildung 4-13) zur Zentraleinheit. Die Triggerung des EKG (Bestimmung der Herzfrequenz) erfolgt in der Zentraleinheit durch einen Schwellenalgorithmus, der ein amplitudenstabiles Signal vom EKG Modul voraussetzt.

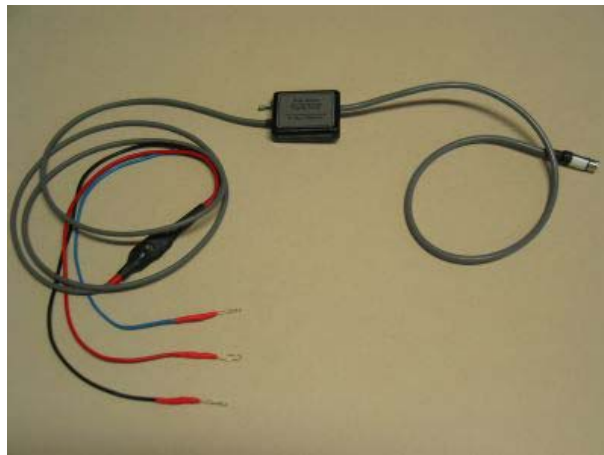


Abbildung 4-13: EKG-Modul

#### Position Elektroden

Die Anbringung der Elektroden erfolgt nach der Nehb'schen Brustwandableitung (siehe Abbildung 4-14). Hierbei sitzen die Elektroden relativ eng beieinander, behindern die VP kaum und gestatten somit entsprechende ambulante Aufzeichnungen, z. B. auch in Fahrerposition.

- Nst Sternalansatz der zweiten Rippe rechts
- Nax im fünften Interkostalraum auf der hinteren Axillarlinie
- Nap im fünften Interkostalraum auf der linken Medioclavikularlinie

Die Ableitungen zwischen Nst und Nax wird mit D (dorsal), die Ableitung zwischen Nst und Nap mit A (anterior) und die Ableitung zwischen Nax und Nap J (inferior) bezeichnet.

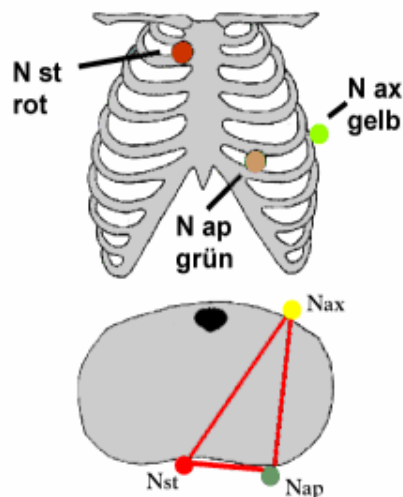


Abbildung 4-14: Bipolare Brustwandableitung nach Nehb

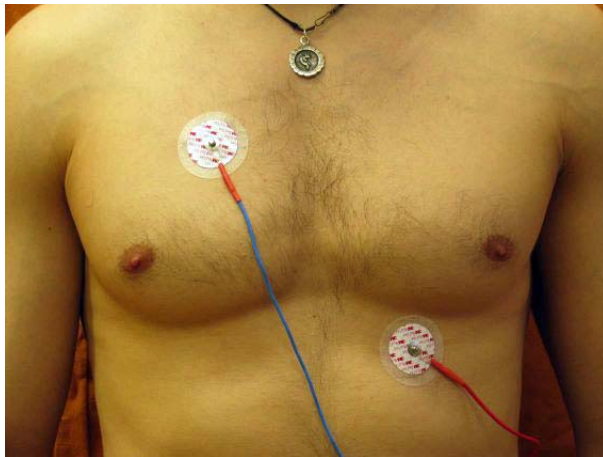


Abbildung 4-15: EKG Elektroden anterior

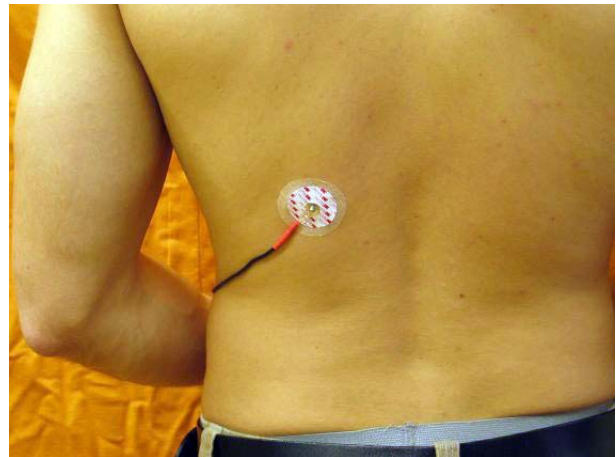


Abbildung 4-16: EKG Elektroden posterior

### Datenaufbereitung

Die EKG-Messung zur Erfassung der R-Zacken wurde wie im Intervallmodus ermittelt. Dadurch bezeichnet ein Wert jeweils den Abstand zwischen zwei R-Zacken. Analog zu den Geschwindigkeitswerten, wird auch hier die dazugehörige Zeit durch die Aufaddierung der vorangegangenen Zeiten zwischen den Abständen errechnet.

Zur Umrechnung der Werte in die Einheit „**Herzschläge pro Minute**“ müssen diese durch 60000 dividiert werden. Die Aufzeichnung der EKG Kurve kann insbesondere bei hohen Geschwindigkeiten Artefakte aufweisen, die gefiltert wurden, indem alle Werte über 200 durch den vorangegangenen Wert ersetzt wurden. Weiterhin ist eine Glättung mit einem gestutzten Mittel durchgeführt worden. Dabei wird der Mittelwert aus den vorangegangenen und nachfolgenden 20 Werten gebildet, wovon 90% der größten und kleinsten Daten nicht berücksichtigt werden.

Zur Darstellung der **Herzratenvariabilität**, die durch die Veränderung der Abstände von einer R-Zacke zur nächsten gebildet wird, wurde eine andere Form der Filterung angewendet. Hierbei bestand das Problem, dass einerseits die Artefakte beseitigt werden müssen und andererseits die Glättung nicht zu nachhaltig sein darf, da sonst der Wert der Herzratenvariabilität zu stark beeinflusst wird. Nach mehreren Durchläufen wurden folgende Filter gewählt:

1. Falls die Differenz zum Vorwert größer als 30 ist, dann wird der Mittelwert aus den vorangegangenen 4 Werten gebildet.
2. Wenn die Pulsfrequenz größer als 160 ist, dann wird ebenfalls der Mittelwert aus den vorangegangenen 4 Werten gebildet.

Extrasystolen werden mit dieser Filterung zwar ausgeschlossen, diese sind aber auch nicht notwendig für die Ermittlung der Herzratenvariabilität. Normalerweise sollte die Änderung von einem Wert zum nächsten nicht mehr als 20 betragen.

Die Herzratenvariabilität wird berechnet, indem die absoluten Änderungen der letzten 60 Werte aufsummiert werden.

$$y(i) = \sum_{j=i-60}^i \text{Abs}(x(j+1) - x(j))$$

Im Diagramm wird die Herzratenvariabilität und die Herzrate auf der ersten y-Achse aufgetragen und die Geschwindigkeit auf der zweiten y-Achse. Die Skalierung der ersten y-Achse geht bei allen Diagrammen von 0 bis 400.

#### 4.3.3.2 *Elektromyogramm*

Bei der EMG Messung werden die elektrischen Aktionspotentiale eines Muskels erfasst. Die Ableitung erfolgt durch 3 Elektroden (Muskelansatz, Muskelbauch und Erdung). Über das Messkettenmodul wird das Signal zunächst verstärkt und gefiltert. Anschließend zur Zentraleinheit weitergeleitet, indem es über einen eigenen Analogrechner in ein RMS-Signal (root means square) umgewandelt wird. Dieses Maß gibt unabhängig von der Kurvenform des Signals den Mittelwert der Muskelspannung an ( $\sigma_{\text{Rms}}$ ).

##### Funktionsweise

Die Muskelaktionspotentiale gelangen über die Elektroden in einen Kabelvorverstärker und Impedanzwandler. Von dort werden sie niederohmig zum EMG-Modul weitergeleitet. Ein 50 Hz-Brummfiter unterdrückt Einstreuungen durch die Netzfrequenz. Das Signal wird durch einen Bandpass auf den Frequenzbereich von 100 bis 200 Hz begrenzt und weiter verstärkt. Danach wird das Signal gleichgerichtet (Doppelweg) und gefiltert (Tiefpass). Über einen Gleichspannungsverstärker und Impedanzwandler gelangt es zur Zentraleinheit. Das Signal entspricht in etwa einem RMS-Signal, das weitgehend unabhängig von der Kurvenform des Eingangssignals ist.

##### Position Elektroden

Grundsätzlich erfolgt die Aufzeichnung des Elektromyogramms über drei Messelektroden:

- Eine wird auf dem Muskelansatz angebracht
- Eine auf dem Muskelbauch des zu messenden Muskels angebracht
- Die dritte ist eine Erdungselektrode und soll so in der Nähe fixiert werden, dass kein Stör-signal gemessen wird (z. B. Spannungspotential vom Herzen).

Die Untersuchung hatte zum Ziel die Kräfte zu ermitteln, die von der Halsmuskulatur aufgewendet werden müssen, um den Helm bei hohen Geschwindigkeiten zu halten. Auf diese Weise können aus den gewonnenen Messwerten Aussagen über die Belastungsgröße unterschiedlicher Helme abgeleitet werden.

Bei dieser Art der Einwirkung ist neben anderen kleineren Muskeln, der Musculus sternocleidomastoideus (paarweise vorhanden) vorrangig beteiligt (Abbildung 4-17). Vorversuche ergaben, dass die EMG-Messung am Musculus sternocleidomastoideus dazu geeignet ist, die Muskelspannung zu erfassen, die aufgebracht werden muss, wenn eine Kraft von vorne (anterior) am Kopf angreift.

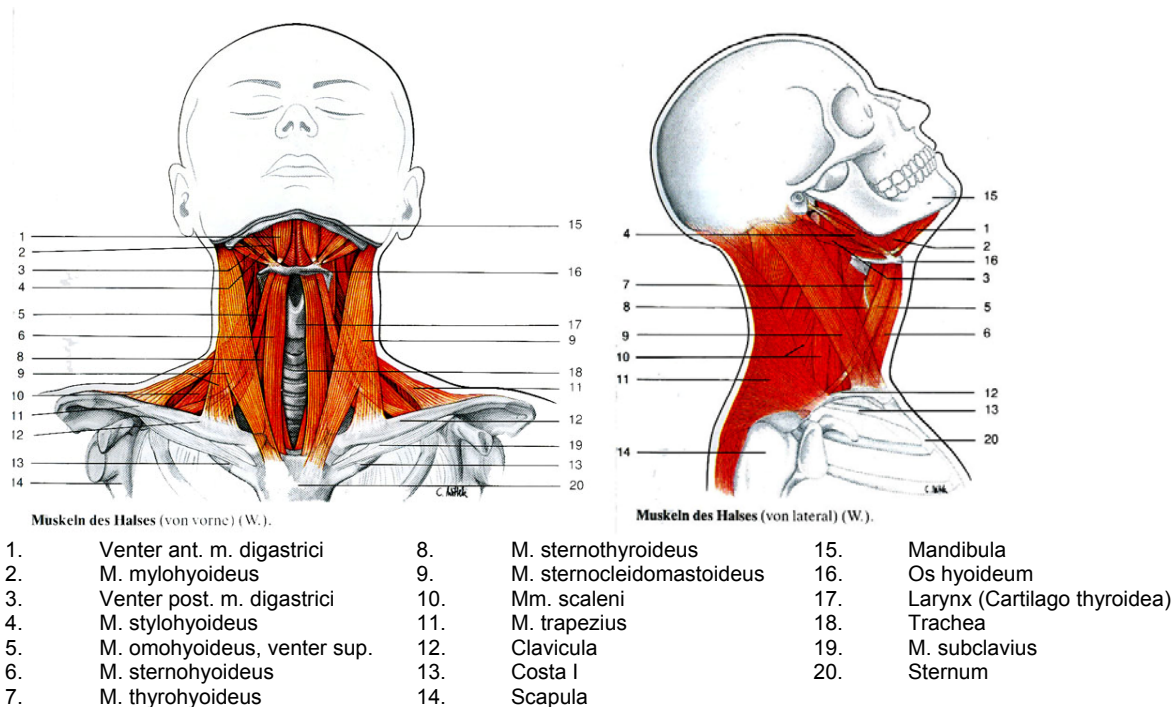


Abbildung 4-17: Muskeln des Halses, Rohen und Yokochi 1997

Zur Erfassung des Muskelaktionspotentials am Musculus sternocleidomastoideus wurden im angespannten Zustand der Muskelbauch ertastet und an der dicksten Stelle, meist 1 cm unterhalb der mandibula, die Elektrode im entspannten Zustand aufgeklebt. Der proximale Muskelansatz am Kopf (processus mastoideus) kam nicht infrage, da sich an dieser Stelle meistens Haare befinden. Der Muskel teilt sich und setzt distal am Schlüsselbein (clavicula) und am Brustbein (manubrium sterni) an. Da der Ansatz am Brustbein im angespannten Zustand gut per palpationem zu ermitteln ist, wurde dieser für die Messungen verwendet. Die Erdungselektrode wurde am Rücken (Musculus trapezius) angebracht, um möglichst wenig Potentiale vom Herzen zu messen (Abbildung 4-18).

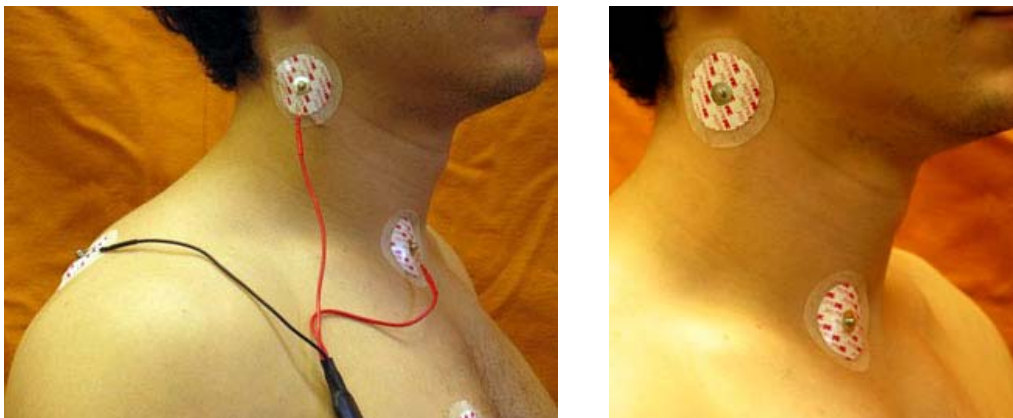


Abbildung 4-18: Position der Elektroden zur EMG Messung

### Datenaufbereitung

Zur Darstellung der Daten aus der EMG Messung muss das Signal, das in etwa einem RMS-Signal entspricht, mit dem Faktor 0,1575 multipliziert werden, um eine Anzeige in  $\mu V_{rms}$  (mikro Volt root means square (der quadratische Mittelwert eines periodischen Signals)) zu gewährleisten.

Eine Eingangsspannung an den EMG-Elektroden von 500  $\mu V_{Vss}$  ergibt eine Anzeige an der Zentraleinheit bzw. im Biomon/Biolink-Programm von 1000 (Vollausschlag).

Eine Anzeige von 1000 entspricht demnach einer Eingangsspannung von 500  $\mu V_{Vss}$ , bzw. 157,5  $\mu V_{rms}$ . Eine Einheit auf dem Bildschirm (Biopac bzw. Biolink) entspricht also 0,1575  $\mu V_{rms}$ .

Beispiel: Eine Anzeige von 100 entspricht einer Muskelspannung von 15,7  $\mu V_{rms}$ .

Um die EMG-Werte mit den Geschwindigkeitswerten nicht nur graphisch zu vergleichen, sondern auch rechnerisch Korrelationen zwischen dem EMG und der Geschwindigkeit zu ermöglichen, musste jedem EMG-Wert ein entsprechender Geschwindigkeitswert und der dazugehörige Zeitwert zugewiesen werden. Dies wurde mit dem Befehl SVERWEIS in Microsoft Excel durchgeführt. Der Befehl SVERWEIS sucht in einer definierten Spalte einer Tabelle nach einem Wert und gibt in der gleichen Zeile einen Wert in einer weiteren Spalte in der Tabelle zurück. Die fehlenden Geschwindigkeitswerte zwischen zwei Zeitabständen wurden aufgefüllt, indem jeweils der vorangegangene Wert kopiert wurde.

Von den Daten der EMG-Messung wurden jeweils zwei Diagramme erstellt. Während das erste Diagramm den Verlauf der Muskelkräfte über die gesamte Versuchsdauer zeigt, wird im zweiten Diagramm der Bereich dargestellt, in dem die Probanden bei 160 km/h die verschiedenen Blickrichtungen einnehmen sollten.

Bei beiden Diagrammen ist die Geschwindigkeit auf der zweiten Achse aufgezeichnet und die EMG-Werte sind als Punktwolke dargestellt. Zusätzlich wurde bei den EMG-Werten ein gleitender Durchschnitt eingetragen, der aus 17 Perioden berechnet wurde. Anhand der Marker sind die einzelnen Phasen der Blickrichtung identifizierbar.

#### 4.3.3.3 *Elektrodermale Aktivität*

Gedanken und Emotionen bewirken oft eine Veränderung der elektrischen Leitfähigkeit der Haut. Diese Aktivität kann als Hautleitwertniveau (skin conductance level, SCL) oder als Hautleitfähigkeitsreaktion (skin conductance response, SCR) gemessen werden (Pinel 2001). Während das SCL den momentanen Leitwert der Haut misst, werden beim SCR spontane hervorgerufene Veränderungen registriert. Nachteilig beim SCL ist, dass der Grundwert der  $V_p$  stets verschieden ist, abhängig von der Verfassung und insbesondere von der Schwitzaktivität der  $V_p$ . Beim SCR, welches bei den hier durchgeführten Versuchen verwendet wurde, wird ein Grundwert vom Gerät vorgegeben. Abweichungen, die durch emotionale Reaktionen hervorgerufen wurden, werden wieder nivelliert.

### Funktionsweise

Die elektrodermale Aktivität (gelegentlich auch als PGR, Psychogalvanischer Reflex bezeichnet) wird über zwei Elektroden gemessen, die am Handballen einer Hand oder seitlich am Oberkörper eng beieinander aufgeklebt werden. Zwischen diesen fließt ein für die Versuchsperson unmerklicher Strom, der die Größe des Hautwiderstandes angibt. Die Messung erfolgt im Kilo-Ohm-Bereich zwischen 5 und 900 k $\Omega$ . Da die Hautleitfähigkeitsreaktion gemessen wurde, gab es einen Grundwert, der bei ca. 628 k $\Omega$  liegt.

### Position Elektroden

Die besten Werte bei der EDA Messung sind zu erreichen, wenn die Elektroden an der Handinnenfläche (palmare) oder Fußsohle (plantare) aufgebracht werden, an denen die sympathisch gesteuerten ekkrinen Schweißdrüsen vorhanden sind. Für die Messungen auf dem Motorrad stellten sich diese Ableitstellen aber als nicht gebrauchsfähig heraus, da sich die

Elektroden bei den Motorradfahren üblichen Aktivitäten (Greifen, Dorsalextension) lösen würden. Für die Versuche wurden daher die Elektroden unter der Achselhöhle, relativ dicht beieinander angebracht.

#### Datenaufbereitung

Die von der Messkette PPLBP ermittelten Werte zur elektrodermalen Aktivität werden ohne weitere Umrechnung dargestellt. Die Einheit ist bereits bei der Messwertermittlung in kOhm in einem Bereich von ca. 5 kOhm bis 900 kOhm. Der Skalierungsbereich in dem Plot wurde auf 500 bis 800 kOhm definiert, um auch hier eine vergleichende Beurteilung zu ermöglichen. Die Geschwindigkeit ist auf der zweiten y-Achse aufgetragen.

#### 4.3.3.4 Temperatur

Die Temperaturmessung geschieht an unterschiedlichen Stellen am Kopf der Vpn mittels Innentemperaturmesssensoren und einem außen liegenden Temperaturmesssensor. Die Sensoren wurden dergestalt an einer Netzkappe fixiert, dass ein direkter Kontakt zur Kopfhaut, bzw. zu den Haaren der Vpn an gleicher Stelle gewährleistet war.

Bei den Versuchen im Windkanal sowie den systematischen Fahrversuchen im öffentlichen Verkehr kamen drei Innensensoren und ein Außensensor zum Einsatz. Die Kanalbelegung der Temperatursensoren im Windkanal und bei den systematischen Fahrversuchen ist in Kapitel 4.3.1 Aufbau der Messkette zu entnehmen.

In einer dritten Versuchsreihe wurden nur Temperaturen unter dem Helm gemessen hierzu kamen drei weitere Innensensoren zum Einsatz, um über das dichter werdenden Messnetz (6 Innensensoren) genauere Angaben über die unter dem Helm herrschenden Temperaturen, und die Funktionalität und Effektivität der Belüftungseinrichtungen zu bekommen.

Der Messbereich der Temperatursensoren (Abbildung 4-19) liegt zwischen ca. 6 – 80°C, die Auflösung beträgt 0,1°C bei einer Messgenauigkeit von 0,5°C. Die Erwärmungssensibilität liegt bei ca. 2°C je Sek., die Abkühlungssensibilität bei 1/3°C pro Sek. (an freier unbewegter Luft); die Selbstaufheizung beträgt 0,08°C in unbewegter Luft.

Bei den Messfühlern ist die gesamte Elektronik (Spannungsregler, Filter, Verstärker) gemeinsam in Kunstharz vergossen.

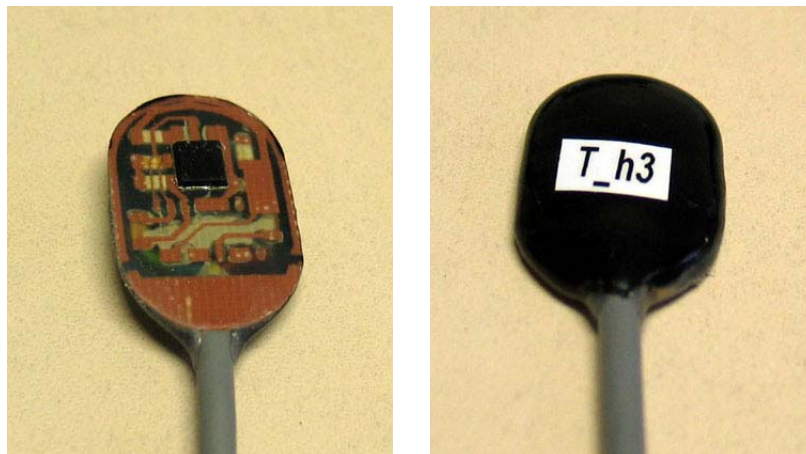


Abbildung 4-19: Temperatursensor, links: Unterseite, rechts: Oberseite

#### Funktionsweise

In den Temperaturmessfühlern wurden Halbleiter Sensoren (integrated-circuit temperature sensors) des Typs LM35 (Precision Centigrade Temperature Sensors) der Firma National Semiconductor Corporation verwendet, deren abgegebene Spannung (V) linear proportional zur Temperatur ist.



Eine Kalibrierung der Sensoren ist nach Herstellerangaben nicht nötig, bei Raumtemperatur liegt die Messgenauigkeit bei  $\pm 0,25^\circ\text{C}$ , über den gesamten Messbereich bei  $\pm 0,75^\circ\text{C}$ . Weitere technische Informationen sind dem im Anhang befindlichen Datenblatt zu entnehmen. Eine Vergleichsmessung über das Ansprechverhalten der Sensoren, sowie eine Referenzmessung der Kopftemperatur wurde im Labor durchgeführt und ist in Kap. 6.6.1 Kalibriermessungen der Temperatur erläutert.

#### Position der Temperaturmessfühler

Die Position der Temperaturmessfühler in Teil 1 der Systematischen Fahrversuche ist in Abbildung 4-20 dargestellt. Zwei Messfühler liegen symmetrisch der Kopfmittellinie links und rechtsseitig am Vorderkopf (Sensor 1 und 2), ein Dritter rechtsseitig am Hinterkopf (Sensor 3).

In Teil 2 der Systematischen Fahrversuche wurde die Anzahl der Messfühler um drei auf sechs erhöht. Hinzugekommen ist ein zweiter Fühler am linken Hinterkopf (Sensor 4), sowie zwei asymmetrisch angeordnete Fühler im Oberkopfbereich links und rechts der Kopfmittellinie (Sensoren 5 und 6). Durch die asymmetrische Anordnung soll ein möglichst großer Bereich des in die Messung einbezogen werden, diese basiert auf der Tatsache, dass die Belüftungskanäle der Helme symmetrisch zur Helmmittellinie verlaufen, und daher auf eine spiegelbildliche Anordnung der in ihrer Anzahl begrenzten Messfühler verzichtet wurde. Abbildung 4-21 zeigt links die Platzierung (in Draufsicht) der Messfühler in Teil 1, und rechts die Anordnung in Teil 2 der Systematischen Fahrversuche.



Abbildung 4-20: Position Temperaturmessfühler (Teil 1 und 2)

Schematische Darstellung (Draufsicht) der Sensorpositionen: links Windkanalversuche und systematische Fahrversuche Teil 1, rechts systematische Fahrversuche Teil 2.

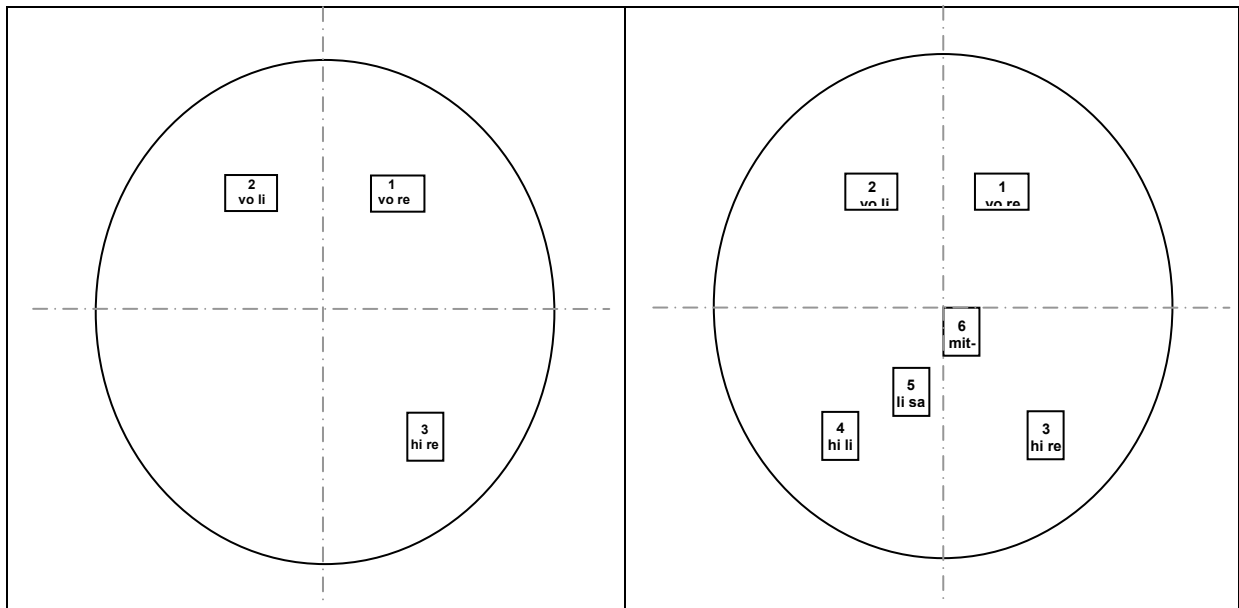


Abbildung 4-21: Position der Temperaturmessfühler, schematische Übersicht

### Datenaufbereitung

Um eine Anzeige in °C zu erhalten, wurden die von der Zentraleinheit erfassten Messwerte durch 10 dividiert. Die Auflösung der Temperaturmessungen beträgt 0,1°C. In den Diagrammen werden die Temperaturwerte am Kopf sowie die Außentemperatur in einer Skalierung von 0 bis 40°C dargestellt. Diese Skalierung wurde einheitlich gewählt, so dass eine vergleichende Beurteilung möglich ist. In dem Plot zur Beurteilung der Helminnentemperatur wurden auch alle Marker sowie die Geschwindigkeit aufgetragen, um Veränderungen durch Fahrtwind oder der Betätigung der Belüftungsöffnungen feststellen zu können.

## 4.4 Messkette Aeroakustik

### 4.4.1 Messtechnik an der Messpuppe

Die Messpuppe zur Durchführung aeroakustischer Messungen ist ausgestattet mit einem Head Acoustics Kunstkopf, in dem hochempfindliche Messmikrofone installiert sind. Die hierdurch gemessenen Signale werden über ein optisches Kabel in den PC übertragen.

Die Aufbereitung der Akustikmessungen erfolgt über einen AD Umsetzer (ADAT Interface oder DAT Recorder), der die analogen elektrischen Mikrofonsignale in digitale Daten umsetzt. Diese Daten werden digital in einen PC in Echtzeit eingelesen und dort als wave File abgespeichert. Die Signalverarbeitung erfolgt mit 44,1 kHz Abtastrate und einer 16 Bit Auflösung.

Die Diagramme sind als EMF Files hinterlegt, die über eine Figure Export Funktion von Matlab aus erstellt werden.



Abbildung 4-22: Akustikmesspuppe

### 4.4.2 Messtechnik an den Versuchspersonen

#### 4.4.2.1 Bei den Windkanalversuchen

Von der signalverarbeitenden Seite gibt es keine Unterschiede zu den Akustikmessungen an der Messpuppe. Als Messmikrofone, rechts und links am Ohr, werden Elektret-Mikrofonkapsel mit Kugelcharakteristik von der Firma Sennheiser, Typ KE 4 eingesetzt. Die Messmikrofone zeichnen sich durch eine kompakte Bauform und einen äußerst linearen Frequenzgang über den Bereich von 20 bis 20.000Hz aus. Für die Kalibrierung wurde ein akustischer Kalibrator von der Firma Bruel und Kjaer – Typ 4231 benutzt (siehe Anhang).

Auch hier werden die gemessenen Signale über ein optisches Kabel direkt in den PC übertragen.

#### 4.4.2.2 Bei den systematischen Fahrversuchen

Bei den systematischen Fahrversuchen werden ebenfalls zwei Messmikrofone der Firma Sennheiser am Gehöreingang angebracht. Die gemessenen Signale werden jedoch auf einen DAT Recorder zwischengespeichert und stehen anschließend über DAT Kassetten zur Auswertung zur Verfügung.

Die Messtechnik besteht aus folgenden Elementen:

- Messmikrofone der Firma Sennheiser, Typ KE 4 mit Spannungsversorgung;
- Signalübertragung auf einen DAT Recorder (Sony D 100);
- Signalspeicherung auf DAT Kassetten 120 Min.

## 4.5 Messkette Aerodynamik

### 4.5.1 Kraftmessroboter

Der Kraftmessroboter zur Durchführung von Kraftmessungen verfügt über eine im Kopf eingebaute Kraftmesswaage, mittels derer die Kräfte und Momente in den drei Koordinatenrichtungen erfasst werden können (Abbildung 4-23). Der Kraftmessroboter kann durch feststellbare Glieder an verschiedene Motorradtypen angepasst werden. Mittels einer entsprechenden Kinematik können computergesteuert unterschiedliche Kopfpositionen durchlaufen werden.



Abbildung 4-23: Auf dem Motorrad installierter Kraftmessroboter

Die Kraftmesswaage im Halsbereich des Kraftmessroboters ist zur direkten Ermittlung der Kraftmesswerte der drei Achsen sowie der Momente um diese drei Achsen (Abtastfrequenz 100 Hz) digital an einen PC angeschlossen.

Erfasst werden die Widerstandskraft (x-Richtung), die Seitenkräfte (y-Richtung) und die Auftriebskraft (z-Richtung). Insgesamt läuft der Messroboter 10 Positionen an, wobei die Grundposition dreimal eingenommen wird (vgl. Kap. 6.4.1).

Eine Ermittlung der Momente erfolgte bei den durchgeführten Versuchsreihen nicht.

#### 4.5.2 Kraftmesshelm

Bei den Messungen im Windkanal stand der Kraftmesshelm von Schubert zur Verfügung, der mittels einer im Helmdom eingebauten Kraftmessdose Kräfte in den 3-Komponenten aufzeichnen kann, während der Helm von einer Vp getragen wird (Abbildung 4-24). Die Helmaußenschale, in dem Fall das Modell Schubert QM 1 Street, ist verschiebbar gegenüber der Helminnenschale („Schutzpolsterung“) mittels einer Messdose verbunden. Aufgrund dieser Anordnung können die an der Helmaußenschale anliegenden Kräfte mit der Kraftmessdose erfasst werden. Die Abtastfrequenz beträgt 100 Hz.

Der Nachteil dieses Verfahrens gegenüber dem Kraftmessroboter ist die schlecht reproduzierbare Positionierung des Helmes. Beim Messroboter wird stets die gleiche Position angefahren, im Gegensatz zur Vp, die immer wieder leicht unterschiedliche Sitz- und Kopfpositionen einnimmt. Zudem würde eine Umrüstung auf einen anderen Helmtyp sehr viel mehr Zeit beanspruchen, als beim Kraftmessroboter, dem lediglich ein anderer Helm aufgesetzt wird.

Wenn der Kraftmessroboter diesen Helm tragen würde und die Positionen exakt übereinstimmen würden, müsste die Auswertung der Kräfte in den drei Richtungen, die gleichen Werte ergeben.

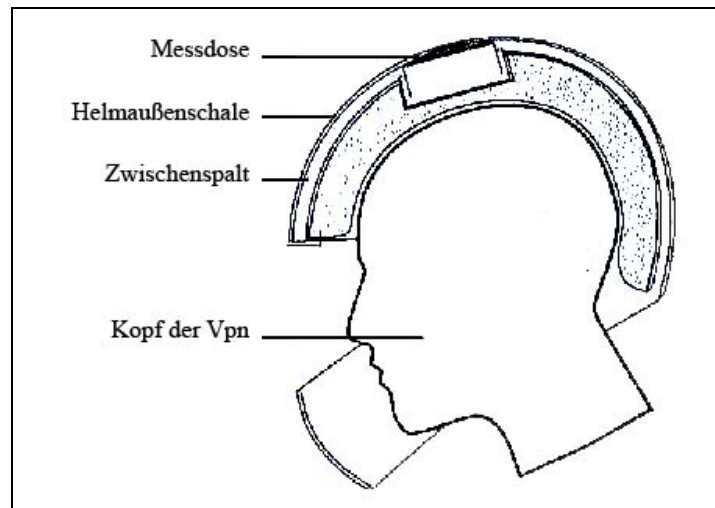


Abbildung 4-24: Kraftmesshelm (QM 1 Datenhelm, Schubert)

In diesem Projekt wurde dieser Helm nur zur Kalibrierung und zum Vergleich mit den ermittelten EMG Messwerten verwendet, da einerseits nur der eine Helmtyp mit der entsprechenden Messtechnik ausgerüstet war, andererseits aber gleichzeitig EMG Messungen an den Vpn durchgeführt werden konnten. Der Helm stand in Größe L zur Verfügung, wodurch gewährleistet war, dass jede Vp den Helm tragen konnte. Jedoch war der Helm einer Vp viel zu groß.

## 5 METHODIK / VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

### Versuchspersonen

Grundanforderungen an die Versuchspersonen war der Besitz der Fahrerlaubnis für Fahrzeuge der Klasse A (Motorräder ohne Leistungsbeschränkung), eine Mindestfahrpraxis von 10000 km in den letzten 10 Jahren, davon 2000 in den letzten 12 Monaten, sowie das nicht Vorhandensein körperlicher Mängel welche das Führen von Krafträdern beeinträchtigen könnten. Zusätzlich wurde vor Beginn der Versuche von jedem Probanden ein Audiogramm angefertigt, um einen Status der Hörfähigkeit der Versuchspersonen zu erhalten.

Drei Versuchspersonen, zwei männliche eine weibliche, absolvierten das komplette Versuchsprogramm im Windkanal sowie im öffentlichen Verkehr bei den systematischen Fahrversuchen; zwei weitere männliche Versuchspersonen wurden bei einzelnen Versuchsteilen hinzugezogen.

Die Versuchspersonen hatten folgende anthropometrische Daten:

Pers. Code	Geschlecht	Körpergröße	Gewicht
II*	weibl.	166 cm	50 kg
JR*	männl.	190 cm	90 kg
KS*	männl.	180 cm	71 kg
TA**	männl.	174 cm	70 kg
FS**	männl.	190 cm	84 kg

\*komplettes Versuchsprogramm      \*\*nur Einzelversuche

Tabelle 5-1: Versuchspersonen

Die Teilnahme der Probanden war freiwillig und erfolgte unter allen Gesichtspunkten den Vorgaben der Ethikkommission der Universität Heidelberg. Alle Probanden waren vor Durchführung der Versuche hinsichtlich aller wesentlichen Punkte und insbesondere eventueller Risiken durch eine entsprechende Probandeninformation aufgeklärt, und hatten eine unterzeichnete Einverständniserklärung sowie eine Kopie ihrer Fahrerlaubnis abgegeben (siehe Anhang).

### Schutzkleidung

Zur Gewährleistung einheitlicher Versuchsbedingungen und einer höchstmöglichen Sicherheit für die Versuchspersonen, insbesondere in deren Funktion als Projektfahrer im öffentlichen Verkehr, wurde auf die Beschaffung einer qualitativ hochwertigen Schutzausrüstung besonderer Wert gelegt.

Schließlich wurden Protech und Promaxine Motorradjacken sowie Protech Schutzhosen der Fa. Rukka in verschiedenen Größen ausgewählt und beschafft. Die Jacken sind mit Ellbogen, Schulter und Rückenprotektoren, die Hosen mit Knie und Hüftprotektoren ausgerüstet. Die Schutzausrüstung wurde durch Motorradhandschuhe und Stiefel aus dem Privatbesitz der aktiv Motorrad fahrenden Projektmitarbeiter komplettiert.

## 5.1 Windkanalversuche

### 5.1.1 Ziel der Versuche

Ziel der Windkanalversuche war die Erarbeitung physikalisch-technischer Messergebnisse zu den aeroakustischen und aerodynamischen Eigenschaften der zur Untersuchung ausgewählten Projekthelme sowie die synchrone Ermittlung psychophysiologischer Leistungs- und Befindlichkeitsparameter der freiwilligen Versuchspersonen bei identischen Einwirkungen unter Einsatz der mobilen achtkanaligen Messkette PPLBP.

Der Windkanal bietet weitgehend reproduzierbare Bedingungen und ermöglicht Messungen unter stabilen, ungestörten Bedingungen (ohne Einflussfaktoren wie Wetter, Klima, Verkehrsgeschehen u. a.).

Die Messungen wurden einerseits mit speziell dafür ausgestatteten Messpuppen (Kraftmessroboter, bzw. Messpuppe mit Head Acoustic Kunstkopf) durchgeführt und andererseits mit drei freiwilligen Versuchspersonen (den späteren Projektfahrern).

### 5.1.2 Versuchsbeschreibung und Ablauf der Versuche

Die Versuche wurden planungsgemäß im Zeitraum vom 26. 09. bis zum 29. 09. 2005 im Windkanal der Firma Schubert Engineering, Braunschweig durchgeführt.

#### 5.1.2.1 Messungen zur Aeroakustik des Helmes mit der Messpuppe

Ziel: Analyse des Schalldruckpegels und des Frequenzspektrums bei den festgelegten Versuchsgeschwindigkeiten mit allen Projekthelmen. Ermittlung von objektiven Kriterien zu den aeroakustischen Eigenschaften der Projekthelme sowie Vergleichswerte für nachfolgende Akustik-Messungen mit den Versuchspersonen.

Die Messpuppe wurde in "normaler" Fahrposition auf dem Projektmotorrad installiert. Jeder Helm wurde der Messpuppe derartig aufgesetzt, dass er nach einer Orientierungslinie auf der Stirn ausgerichtet war, die den oberen Rand des Sichtfeldausschnittes markiert. Die Schallimmission wurde jeweils bei Strömungsgeschwindigkeiten entsprechend 80 km/h, 120 km/h und 160 km/h gemessen.

Die gemessenen Signale liefen aus dem Head Acoustics Kunstkopf der Messpuppe in ein ADAT-Interface und von dort über ein optisches Kabel in den PC, wo sie als wave Files abgespeichert und mit Matlab analysiert wurden.

Zu jeder Messung wurden die Messdaten, ein wave File sowie zwei Lichtbilder, die automatisch von den beiden fest montierten Kameras aufgenommen wurden, gespeichert. Die erste Kamera fotografiert die Messstrecke direkt von vorne und die zweite Kamera schräg von oben über der Düse.

Als Ergebnisse der Messungen liegen der Schalldruckpegel und das Spektrum als Diagramm vor, wobei es für jede Messung ein eigenes Diagramm mit den Terzbandspektren für die drei Geschwindigkeiten (linkes und rechtes Ohr) gibt.

Ablauf der Messungen:

1. Helm am Dummy in Ausgangsposition bringen, Belüftung und Visier schließen
2. Absolvieren der Messung bei  $v = 80$  km/h
3. Absolvieren der Messung bei  $v = 120$  km/h
4. Absolvieren der Messung bei  $v = 160$  km/h
5. Auslesen, Speichern der Messwerte

### 5.1.2.2 Messungen zur Aeroakustik des Helmes mit den Versuchspersonen

Zur Durchführung der systematischen Fahrversuche wurden die Versuchspersonen mit zwei Messmikrofonen der Fa. Sennheiser, Typ KE4, ausgerüstet, die die akustischen Signale direkt am Gehöreingang messen. Die Signalführung und Auswertung erfolgte analog der Messungen im Windkanal.

Die Versuchspersonen unterzogen sich mit jedem Helm einem festen Programm:

- Messung in normaler Fahrposition bei 80 Km/h,
- Messung bei 120 km/h in fünf Sitzpositionen von max hinten bis ganz max vorne, ohne den Blick von der „Straße“ abzuwenden und
- Messung bei 160 km/h wieder in normaler Fahrposition

Jede Messung wurde lichtbildtechnisch dokumentiert.

Auch zu diesen Messungen gibt es neben den wave Files für jede Versuchsperson eine Excel-Tabelle mit allen Schalldruckpegeln bei den entsprechenden Geschwindigkeiten und Helmpositionen.

Zusätzlich gibt es für jeden Helm ein Diagramm, das wie bei der Messpuppe, die Spektren für die Normalpositionen in allen drei Geschwindigkeiten erfasst. Ein weiteres Diagramm zeigt gemittelte Spektren für die fünf Sitzpositionen bei 120 km/h und die Kennlinie für den Geräuschpegel über der x-Position des Helmes. Das in den Diagrammen (Kap. 6.3.1.2) angegebene Maß entspricht dabei dem Abstand des Hinterkopfes vom Strömungsausstritt der Düse in Metern.

Diese Kennlinie (Geräuschpegelverlauf) lässt erkennen, über welchen Bereich sich die Geräuschpegel eines Helmes in verschiedenen Sitzpositionen erstrecken und wie stark sie sich bei Positionsänderungen des Motorradfahrers ändern.

### 5.1.2.3 Messung zur Aerodynamik des Helmes mit dem Kraftmessroboter

Ziel: Erfassen der Kopfhaltkräfte (Kraft und Momente in x-, y- und z-Richtung) bei den oben genannten festgelegten Versuchsgeschwindigkeiten mit allen Projekthelmen. Zudem sollten objektive Kriterien zu den aerodynamischen Eigenschaften erarbeitet werden und Korrelationen für nachfolgende EMG-Messungen am Versuchspersonen.

Zur Vorbereitung der Versuchstechnik mussten das Motorrad, der Kraftmessroboter und die erforderliche Messtechnik installiert werden. Zur Beschreibung der Messtechnik vergleiche auch Janke et. al. (2005) S. 609 ff und S. 630 ff.

Die Kraftsensoren messen analog der Messwaage des Messroboters am Kraftmesshelm ebenfalls die Widerstandskraft, die Querkräfte und die Auftriebskraft (Abtastfrequenz ebenfalls 100 Hz).

Das Bezugskordinatensystem wird mit dem Hals mitbewegt und liegt so, dass die Auftriebskraft immer genau in Halslängsrichtung gemessen wird, die Widerstandskraft und die Querkräfte werden entsprechend orthogonal zum Hals erfasst. Für die Querkraft wird aus Sicht des Roboters eine Kraft nach rechts positiv gezählt.

Für jeden Helm wird bei den Geschwindigkeiten 80 km/h, 120 km/h und 160 km/h eine Reihe von Kopfpositionen angefahren und in jeder Position werden die Kräfte gemessen.

Mittelungszeit ist ca. 2 s für jede Position, das entspricht 200 Messwerten.

Die Daten werden zusätzlich über den gesamten Messzyklus gemittelt und automatisch in eine Excel-Tabelle geschrieben. Diese Tabelle enthält die Gesamtkraft, die Widerstandskraft, die Querkraft (in Form der Querkraftdifferenz bei Spiegelblick) sowie den Auftrieb als für jeden Helm charakteristische Größen. Zusätzlich ist in der Spalte „std max“ die maximal gemessene Standardabweichung unter allen Krafrichtungen angegeben; diese Größe sagt etwas über die Größenordnung der instationären Rüttelkräfte am Helm aus.



Eine grafische Darstellung der Kräfte liegt als emf-Files vor.

Den nachfolgend beschriebenen Ablauf der Messungen musste jeder Helm absolvieren:

- Helm am Dummy in Ausgangsposition bringen, Belüftung und Visier schließen
- Absolvieren der 10 Messpunkte bei  $v = 80$  km/h
- Absolvieren der 10 Messpunkte bei  $v = 120$  km/h
- Absolvieren der 10 Messpunkte bei  $v = 160$  km/h
- Auslesen, speichern der Messwerte

Von jedem Helm wurde nach dem Aufsetzen eine entsprechende Lichtbilddokumentation angefertigt.

#### 5.1.2.4 *Messung der muskulären Haltekräfte des Helmes an Versuchspersonen*

Ziel: Vergleichende Messungen Dummy – Versuchsperson, wobei als Korrelat zu den Kraftmessungen am Kraftmessroboter bei den Versuchspersonen die muskuläre Haltekraft mittels der elektromyographischen Messungen erfasst wurde.

Da bei den Laborversuchen im Gegensatz zu den systematischen Versuchen ein Kanal an der Messkette physiologischer Leistungs- und Befindlichkeitsparameter frei war (die Geschwindigkeit wird vom Windkanal vorgegeben), wurde eine zusätzliche EMG-Messung an dem linken Musculus sternocleidomastoideus durchgeführt, um so weitere Aussagen zur Muskelaktivität gewinnen zu können.

Bei der Vorbereitung der Versuche wurden an den Versuchspersonen insgesamt elf Messelektroden angebracht, von denen sechs der beidseitigen EMG-Ableitung und die weiteren fünf Elektroden der Ableitung der Pulsfrequenz (EKG) und der elektrodermalen Aktivität (EDA) dienten.

Zusätzlich wurde die speziell dafür vorbereitete Netzkappe am Kopf der Versuchsperson angebracht (vorläufig mit 3 Temperatursensoren) und ein weiterer Temperatursensor, der die Außentemperatur als Referenztemperatur (Windkanal) erfasst.

Die Helmpositionen wurden so festgelegt, dass die Versuchsperson folgende Positionen einnimmt:

1. Blick in Fahrtrichtung
2. Blick nach unten
3. Blick in den Spiegel nach links
4. Blick in den Spiegel nach rechts
5. Blick in Fahrtrichtung

Die erste Position wurde am Ende wiederholt, damit eine Referenzmessung die Wiederholbarkeit der Versuche belegt.

Der Gesamttablauf der Messungen gestaltete sich wie folgt:

1. Helm an der Vp in Ausgangsposition bringen, Belüftung offen, Visier geschlossen
2. Absolvieren der Messpunkte bei  $v = 80$  km/h
3. Absolvieren der Messpunkte bei  $v = 120$  km/h
4. Absolvieren der Messpunkte bei  $v = 160$  km/h
5. Referenzmessung Temp.: Schließen der Belüftung, Messungen bei  $v = 120$  km/h
6. Speichern, Auslesen der Messwerte von der Zentraleinheit PPLBP.

Zusätzlich zu den zwölf Helmen wurde als Referenz zu den EMG-Messungen mit jeder Versuchsperson eine Messung mit einem Kraftmesshelm (Datenhelm QM 1 der Fa. Schubert), zur Kalibrierung der EMG Messung durchgeführt (siehe Abbildung 4-24, sowie Hucho, Bild 10.30 S.631).

Auf dem Innenhelm des Kraftmesshelms war die Helmschale eines Schubert QM1 montiert. Das Koordinatensystem der Kraftvektoren ist kongruent zu dem des Messroboters.

Die Kräfte wurden bei 160 km/h in den 5 Positionen

- Kopfposition geradeaus
- Kopfposition gesenkt
- Kopfposition Spiegel links
- Kopfposition Spiegel rechts
- Kopfposition geradeaus

gemessen.

Für jede Krafrichtung wurden über einen Zeitraum von jeweils 30 s eine Anzahl von 3000 Messwerten aufgenommen. Für jede Position gibt es ein Diagramm des Zeitverlaufs der Kräfte, sowie eine Excel-Tabelle mit allen Messwerten der gesamten Messreihe. Die Zeit ist bezogen auf den Start der Messung, und die Messungen wurden jeweils sofort nach Drücken des Markers durch die Versuchsperson gestartet.

Außerdem ist für jeden eine mit „TARA“ benannte Messreihe enthalten, die zur Überprüfung der erfolgreichen Eliminierung des Helmgewichts dient und bei den Versuchspersonen II und KS eine Messung „HAND“, bei der der Helm von Hand in verschiedenen Richtungen belastet wurde.

## 5.2 Systematische Fahrversuche – Teil 1

### 5.2.1 Ziel der Versuche

Die systematischen Fahrversuche Teil 1 beinhalten psychophysiologische sowie aeroakustische Messungen und sollten den Rahmen dafür bieten, Motorradversuche unter Feldforschungsbedingungen auszuführen. Die Ergebnisse der Fahrversuche sollen mit den Ergebnissen der Windkanalversuche verglichen und bewertet werden.

Zu erwarten waren dabei einerseits das vermehrte Auftreten von Störfaktoren aufgrund variabler Straßenverkehrsbedingungen, Wetterschwankungen, vermehrter Bewegung der Vpn auf dem fahrenden Motorrad, andererseits realitätsnahe Ergebnisse, auch bezüglich der psychophysiologischen Messungen.

Die Ermittlung der Daten bezog sich auf aeroakustische und aerodynamische Eigenschaften der Motorradhelme sowie auf die Helminnentemperatur anhand von Temperaturmessungen.

### 5.2.2 Versuchsbeschreibung und Ablauf der Versuche

Die Durchführung der systematischen Fahrversuche erfolgte im Oktober 2005. Es wurde der gesamte festgelegte Umfang der Projektfahrten von jeweils einem Projektfahrer pro Tag unter Einsatz jeweils aller 12 Projekthelme ohne Zwischenfall durchgeführt. Die Versuche fanden im öffentlichen Straßenverkehr auf Streckenabschnitten der Bundesstraße B 39 sowie auf einem Streckenabschnitt der Bundesautobahn BAB 65 im Raum Neustadt an der Weinstraße / Pfalz statt.

Im nachfolgenden wird der Fahrtablauf in Einzelheiten wiedergegeben und ist auf der anschließenden Straßenkarte dokumentiert.

Marker	Aktion	Ort	km	Belüftung	v
1	Vp steht / Kalibrierung	Start / Ende	0	geschl.	0
<i>Messung auf der B 39 auf dem Weg zur BAB 65</i>					
2	Vp / Sitzpos normal	B 39 – westl. Rtg.	0,8	geschl.	80
<i>Messung nach Auffahrt auf BAB 65 in südliche Richtung bei Neustadt</i>					
3	Vp / Sitzpos normal	BAB 65 – südl. Richtung	3,3	geschl.	120
4	Vp / Sitzpos weit hinten	BAB 65 – südl. Richtung		geschl.	120
5	Vp / Sitzpos hinten	BAB 65 – südl. Richtung		geschl.	120
6	Vp / Sitzpos vorne	BAB 65 – südl. Richtung		geschl.	120
7	Vp / Sitzpos weit vorne	BAB 65 – südl. Richtung		geschl.	120
8	Vp / Sitzpos normal	BAB 65 – südl. Richtung	8,8	offen	80
<i>Verlassen der BAB 65, Fahrtrichtungswechsel, erneute auf BAB 65 in nördliche Richtung</i>					
9	Vp / Blick geradeaus	BAB 65 – nördl. Richtung		offen	160
10	Vp / Blick Spiegel links	BAB 65 – nördl. Richtung		offen	160
11	Vp / Blick Spiegel rechts	BAB 65 – nördl. Richtung		offen	160
12	Vp / Blick geradeaus	BAB 65 – nördl. Richtung	14,3	offen	160
<i>Messung auf B 39 nach Abfahrt von BAB 65 Ausfahrt 13</i>					
13	Vp / Sitzpos normal	B 39 – östl. Richtung	16,8	offen	80
14	Vp steht / Kalibrierung	Start / Ende	17,6	offen	0

Tabelle 5-2: Versuchsabschnitte systematische Fahrversuche Teil 1

#### Fahrtablauf:

Vor Abfahrt zu beachten:

- Helm an der Versuchsperson in Ausgangsposition bringen, Belüftung geschlossen
- Wegstreckenzähler am Motorrad zurückstellen, Uhr zurückstellen
- Betätigung der Lüftung klar?
- Visier geschlossen

Anm.: alle Messungen erfolgen im 6. Gang

Um später die Akustikmessungen auf der DAT Kasette für die Auswertung zu identifizieren, erfolgte vor Abfahrt und am Ende der Messfahrt unter Benennung des Projekthelmtyps ein Start-Synchro – Marker.

Jede geplante Körperhaltung der Projektfahrer wurde bei den effektiven Geschwindigkeiten 80 km/h, 120 km/h und 160 km/h ca. 15 sec. lang gefahren und durch einen Marker gekennzeichnet, wobei sich die Tachometeranzeige bei allen Geschwindigkeiten um ca. 5 km/h von der effektiven Fahrgeschwindigkeit unterschied und entsprechend nach oben korrigiert wurde (Tachometeranzeige 85 km/h, 126 km/h und 166 km/h). Hierzu waren einschlägige Vorversuche durchgeführt worden, deren Ergebnisse u. a. Hinweise auf die notwendige Korrektur dieser Geschwindigkeitsdiskrepanz gaben.

### Streckenführung:

Die Strecke führte vom Startpunkt in 67435 Lachen Speyerdorf (Theodor-Heuss Straße Nr. 31 Schule/Festplatz) zur B 39 (0,8 km); sodann über die Bundesstraße 39 in nordwestlicher Richtung zur Autobahn A 65, Anschlussstelle Neustadt Süd (AS Nr. 13) – (2,5 km); auf der Autobahn verläuft die Versuchsstrecke in südlicher Richtung zum Wendepunkt, Anschlussstelle Edenkoben (AS Nr. 14) – (5,5 km); vom Wendepunkt wird auf demselben Weg zum Startpunkt zurück gefahren.

**Die Streckenlänge beträgt insgesamt ca. 17,6 km**, hiervon: 11 km Autobahn, 5 km Landstraße, 1,6 km innerorts; (einschließlich Wiederholschleife: 27 km); Fahrtzeit ca. 15 min..



Abbildung 5-1: Kartenausschnitt der Versuchsstrecke  
(Quelle: Allianz Freizeitkarte Rhein/Neckar)

Vorbereitende Maßnahmen zur Versuchsdurchführung waren:

- Anbringung der 8 Messelektroden, Verkabelung und Verstaueung der physiologischen Messkette (in einem Rucksack)
- Fixierung der Temperatursensoren mittels der dafür angefertigte Netzkappe am Kopf des Projektfahrers
- Vornahme der Einstellungen an der Zentraleinheit PPLBP (Kanalbelegung der Messtechnik, Speicher- und Batterieüberprüfung, etc.)
- Einsetzen der Mikrofone und des DAT-Recorders zur Aufzeichnung der Akustikmessungen, zum synchronen Ablauf der aerodynamischen und aeroakustischen Messungen.

### 5.2.3 Eingesetzte Messtechnik

Die eingesetzte Messtechnik bestand aus der bereits oben beschriebenen mobilen 8-Kanal Messkette zur Erfassung psycho-physischer Leistungs- und Befindlichkeitsparameter einschließlich zusammenhängender Peripherie sowie aus der Messkette zur Erfassung und Speicherung aeroakustischer Messdaten – insbesondere des Schalldruckpegels innerhalb des Schutzhelmes – mittels eines am Eintritt des Gehörganges befestigten In-ear Mikrofones, von dem aus die Aufzeichnungen auf ein Digital Audio Tape (DAT) erfolgte; die Messmikrofone wurden mittels des im Anhang genannten Schallkalibrators von Bruel und Kjaer (Typ 4231) kalibriert.

#### 5.2.3.1 *Modifizierung der psychophysiologischen Messkette*

Im Vergleich zu den Windkanalversuchen änderte sich z. T. die Kanalbelegung der Messkette zur Bestimmung physiologischer Größen. Einer der 8 verfügbaren Kanäle wurde mit der Drehzahlbestimmung (am Motorradhinterrad) belegt; aus diesem Grunde konnte die ursprünglich symmetrisch geplante EMG-Messung nur auf der rechten Seite ausgeführt werden (siehe dazu auch Kapitel 4.3.1 Aufbau der Messkette).

#### 5.2.3.2 *Messtechnik für aeroakustische Messungen zur Bestimmung des Schalldruckpegels*

Zur Messung des Schalldruckpegels innerhalb des Helmes wurden In-ear-Mikrofone (Sennheiser Typ KE 4-211), ein DAT-Recorder Sony D 100 sowie ein Kalibrator Type 4231 verwendet.

Der Kalibriervorgang der Mikrofone verlief nach folgendem Schema:

- Recorder auf Aufnahme
- Adapterring ¼ Zoll (wird für Sennheiser-Mikrofone KE4 angepasst)
- Kalibrator einschalten, 94 dBA
- Mikrofon einsetzen linke Seite
- Wartezeit ca. 3–5 Sek.
- Kalibratoreinstellung auf 114 dBA
- Wartezeit ca. 3–5 Sek.
- Kalibratoreinstellung auf 94 dBA
- Mikrofon entfernen
- Vorgang für rechtes Mikrofon wiederholen.

### 5.2.4 Projektfahrer

Zur Durchführung der Versuche wurden 3 Projektfahrer eingeplant, welche die oben beschriebene Fahrstrecke mit 12 Motorradhelmen sukzessiv absolvierten.

Als Projektfahrer fungierten sowohl bei den Windkanalversuchen in Braunschweig als auch bei den systematischen Fahrversuchen im Straßenverkehr ein Mitarbeiter der Firma Schuberth Engineering / Braunschweig sowie zwei Projektmitarbeiter von TBU.

### 5.3 Systematische Fahrversuche – Teil 2

Im Mai 2006 wurde auf einem Abschnitt der BAB 5 Teil 2 der systematischen Fahrversuche durchgeführt, Temperaturmessungen im Helminneren. Hauptuntersuchungsgegenstand war hierbei die Belüftungseinrichtung der 12 Projekthelme. Versuchsfahrzeug war, wie in den vorangegangenen Versuchen, eine Suzuki Bandit 650.

#### 5.3.1 Ziel der Versuche

In Teil 2 der systematischen Fahrversuche wurde im Gegensatz zu den vorangegangenen systematischen Fahrversuchen ausschließlich die Belüftungseinrichtung, d.h. die Helminnentemperatur am Kopf der Versuchsperson untersucht.

Hierzu wurden sechs Innensensoren und ein Außensensor verwendet. Einzige Variable war die „Einstellung der Belüftung“. Die Kopfhaltung „Normalposition“ sowie die Geschwindigkeit ( $v$  im Versuch 80 km/h) wurden soweit es die äußeren Umstände im öffentlichen Straßenverkehr zuließen, nicht verändert, um ein möglichst unverfälschtes Bild über den Einfluss der Einstellung der Helmbelüftung auf die Helminnentemperatur zu erhalten. Zudem wird ein Ampelstopp (3 min) simuliert, um so durch die Aufheizung und abschließende Abkühlung Aussagen zum Temperaturverhalten des Helmes machen zu können.

#### 5.3.2 Versuchsbeschreibung und Ablauf der Versuche

Vor Beginn der Versuche wird die Messhaube mit den sechs Temperatursensoren auf dem Kopf der Versuchsperson fixiert; ein siebter Temperatursensor, der außen am Messrucksack in einer vor Sonneneinstrahlung geschützten Box befestigt ist, misst die Außentemperatur. Die Versuche auf den Abschnitten,  $M_2 - M_4$ ;  $M_5 - M_6$ ;  $M_7 - M_8$  wurden bei einer konstanten Geschwindigkeit von 80 km/h durchgeführt (siehe dazu auch Abbildung 5-2).

Die Vp startet, um ein Aufwärmen des Helmes zu verhindern, unmittelbar nach Aufsetzen des Helmes (Belüftung geschlossen), und fährt vom Startpunkt, einem Parkplatz direkt neben der Auffahrt auf die Autobahn und beschleunigt auf die Versuchsgeschwindigkeit von 80 km/h. Nach 5 km wird die Belüftung des Helmes während der Fahrt geöffnet, nach weiteren 4 Kilometern ist der Wendepunkt erreicht. Auf diesem 9 km langen Teilstück der Versuchsstrecke wird also lediglich nach 5 km die Belüftung des Helmes betätigt; weder Sitzposition noch die Geschwindigkeit variieren.

Anschließend wird der Wendepunkt der Versuchsstrecke erreicht und die Vp fährt auf der Rückfahrt weiterhin mit 80 km/h ca. 1,5 min bis zu einem Parkplatz, an der die Vp 3 min mit geschlossenem Visier auf dem Motorrad wartet, wodurch ein Ampelstopp simuliert und ein Aufheizen des Helmes erreicht wird.

Nach der Wartezeit wird die restliche Strecke mit 80 km/h absolviert, damit eine Abkühlung der Helminnentemperatur erfolgt und so Aussagen zu der Effektivität der Belüftungseinrichtung gemacht werden können.

Die untenstehende Tabelle zeigt die einzelnen Versuchsabschnitte.

Marker	Aktion	Ort	km	Belüftung	v
1	Vp steht / Kalibrierung	Start	0	Geschlossen	0
2	Vp nach Autobahnauffahrt	Autobahn nach AS 42	0,5	Geschlossen	80
3	Vp öffnet Belüftung	Autobahn Hälfte der Strecke	5,5	Offen	80
4	Vp vor Autobahnausfahrt	Autobahn vor AS 43	9,5	Offen	80
5	Vp nach Autobahnauffahrt	Autobahn nach AS 43	10,5	Offen	80
6	Vp hält auf P	Autobahnraststätte	12,5	Offen	0
7	Vp nach Wartezeit auf P	Autobahnraststätte	12,5	Offen	0
8	Vp vor Autobahnausfahrt	Autobahn vor AS 42	19,5	Offen	80
9	Vp steht / Kalibrierung	Ende	21,5	Offen	0

Tabelle 5-3: Versuchsabschnitte systematische Fahrversuche Teil 2

Die Versuche wurden im Mai 2006 auf der BAB 5 durchgeführt. Start und Endpunkt der Versuchsstrecke war die Anschlussstelle Kronau (AS 41); gewendet wurde an der ca. 10 km südlich liegenden Anschlussstelle Bruchsal (AS 42). Die Gesamtlänge der Versuchsstrecke beträgt 21,5 km, ein Versuchsdurchgang dauert ca. 20 Minuten.

Die nachfolgende Graphik zeigt eine Skizze der Versuchsstrecke sowie den Versuchsablauf, mit den Markern, die zu den definierten Zeitpunkten gesetzt wurden.

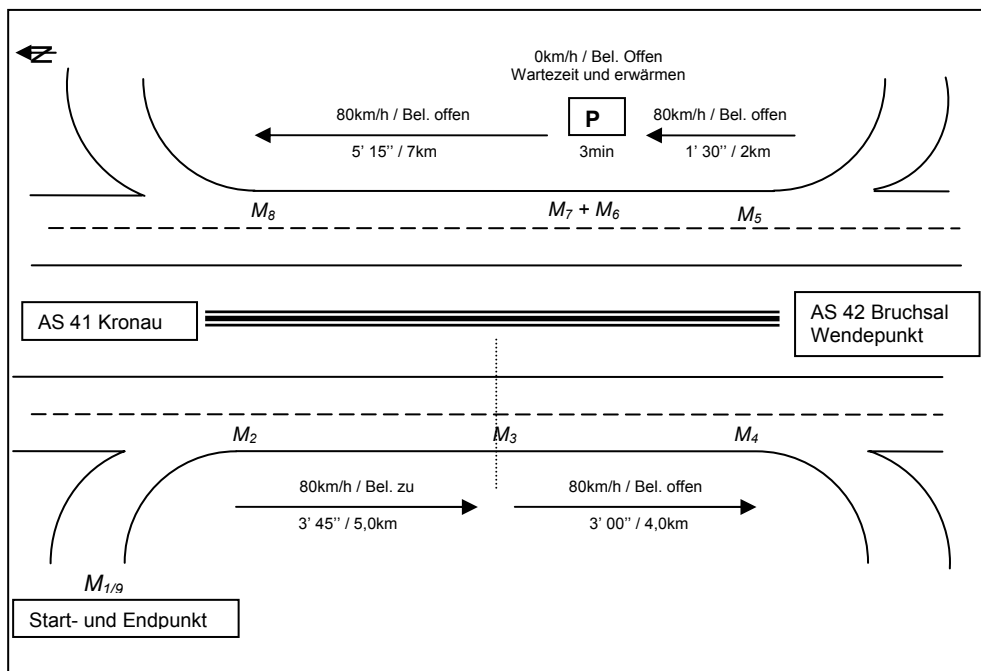


Abbildung 5-2: Skizze der Versuchsstrecke und des Versuchsablaufes

Am Tag der Versuchsdurchführung war es leicht bewölkt, die Temperaturen lagen bei Versuchsbeginn 8:40 Uhr bei 10° C und stiegen bis Versuchende (15:00 Uhr) auf 19° C. Die relative Luftfeuchte lag bei ca. 40%.

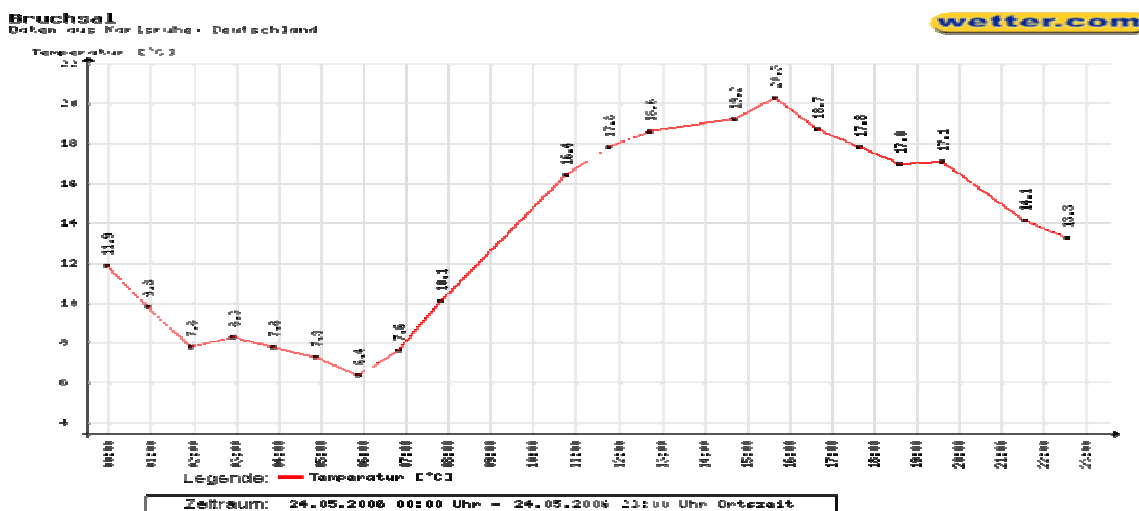


Abbildung 5-3: Temperaturverlauf am Untersuchungstag

### 5.3.3 Eingesetzte Messtechnik

Bei den Versuchen werden sechs Innensensoren mittels einer Messhaube auf dem Kopf der Versuchsperson befestigt. Die Messhaube wurde zusätzlich mit Klebeband am Kopf der Versuchsperson fixiert, um bei allen Versuchen die gleiche Position der Temperatursensoren sicherzustellen.

In den vorangegangenen Versuchen wurden drei Innensensoren verwendet. Der Außentemperatursensor ist vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt in einer durchlüfteten Sensorbox am Messrucksack befestigt.

Neben der Sensorik an der Versuchsperson ist das Versuchsmotorrad mit einem am Hinterrad befestigten Geschwindigkeitssensor sowie einem Markerschalter am Lenker ausgerüstet.

Die Kanalbelegung in Teil 2 der systematischen Fahrversuche ist wiedergegeben in Kapitel 4.3.1 Aufbau der Messkette.



## 5.4 Systematische Fahrversuche – Teil 3

In einem dritten Teil der systematischen Fahrversuche erfolgte eine weiterführende Untersuchung der Messmethode zur Ermittlung der Muskelaktivität beim Fahren mit höheren Geschwindigkeiten. Die Fahrversuche erfolgten mit einem, bis auf eine Teilverkleidung, gleichen Motorrad (Suzuki Bandit – GSF 650 SA) wie die vorangegangenen Versuche.

### 5.4.1 Ziel der Versuche

In Teil 3 der systematischen Fahrversuche wird die Belastung der Halsmuskulatur bei hohen und höheren Geschwindigkeiten (120, 160 und 180 km/h) mit einem teilverkleideten Motorrad untersucht. Dazu wird der Muskeltonus am rechten und linken Musculus sternocleidomastoideus gemessen. Während der Versuchsfahrt wurde jeweils die Kopfposition in „Normalposition“ eingenommen. In den einzelnen Versuchsphasen wurden die vorgegebenen Versuchsgeschwindigkeiten, soweit es die äußeren Umstände im öffentlichen Straßenverkehr zuließen, konstant gehalten.

### 5.4.2 Versuchsbeschreibung

Im August 2006 wurde auf einem Abschnitt der BAB 5 die systematischen Fahrversuche Teil 3 durchgeführt. Es wurden mit drei Vpn (KS; TA, FS) auf der Strecke Kronau – Bruchsal (identisch mit systematischen Fahrversuchen Teil 2), die Versuchsgeschwindigkeiten – 120, 160 und 180 km/h – gefahren. Start- und Endpunkt der Versuchsstrecke war die Anschlussstelle Kronau (AS 41); gewendet wurde an der ca. 10 km südlich liegenden Anschlussstelle Bruchsal (AS 42). Die Gesamtlänge der Versuchsstrecke beträgt 21,5 km, ein Versuchsdurchgang dauert ca. 12 Minuten, siehe hierzu Abbildung 5-4. Damit Aussagen zur Reproduzierbarkeit der Messungen möglich sind, wird die beschriebene Runde zweimal wiederholt, bevor die Vp den Endpunkt (Startpunkt) wieder anfährt, wodurch sich insgesamt eine Dauer von 36 min und eine Fahrstrecke von 62 km pro Helm ergeben.

Untersuchungsgegenstand war jeweils ein Integralhelm aus dem oberen sowie ein Integralhelm aus dem unteren Preissegment (Shoei XR 1000 sowie Probiker RFX). Messtechnisch wurde die Muskelaktivität am Musculus sternocleidomastoideus rechts und links mit Hilfe der PPLBP Messkette erfasst sowie die Beschleunigung am Helm in x-Richtung.

Die Vp startet nach Aufsetzen des Helmes und fährt vom Startpunkt auf die Autobahn und beschleunigt auf die Versuchsgeschwindigkeit von 120 km/h. Nach 5 km wird auf 160 km/h beschleunigt und die Geschwindigkeit bis zum Wendepunkt möglichst konstant gehalten. Der Rückweg zum Startpunkt wurde, soweit es das Verkehrsaufkommen zuließ, bis zur Autobahnausfahrt mit einer konstanten Geschwindigkeit von 180 km/h absolviert.

Die nachfolgende Tabelle 5-4 zeigt die einzelnen Versuchsabschnitte sowie die gesetzten Marker.

Marker	Aktion	Ort	km	v km/h
<b>Durchgang 1</b>				
1	Vp steht / Kalibrierung	Start	0	0
2	Beginn Versuchsstrecke 120 km/h	Autobahn nach AS 42	0,5	120
3	Ende Versuchsstrecke 120 km/h	Autobahn 1. Hälfte der Strecke	5,5	120
4	Beginn Versuchsstrecke 160 km/h	Autobahn 2. Hälfte der Strecke	5,5	160
5	Ende Versuchsstrecke 160 km/h	Autobahn vor AS 43	9,5	160
6	Beginn Versuchsstrecke 180 km/h	Autobahn nach AS 43	10,5	180
7	Ende Versuchsstrecke 180 km/h	Autobahn vor AS 42	19,5	180
<b>Durchgang 2</b>				
8	Beginn Versuchsstrecke 120 km/h	Autobahn nach AS 42	21	120
9	Ende Versuchsstrecke 120 km/h	Autobahn 1. Hälfte der Strecke	26	120
10	Beginn Versuchsstrecke 160 km/h	Autobahn 2. Hälfte der Strecke	26	160
11	Ende Versuchsstrecke 160 km/h	Autobahn vor AS 43	30	160
12	Beginn Versuchsstrecke 180 km/h	Autobahn nach AS 43	31	180
13	Ende Versuchsstrecke 180 km/h	Autobahn vor AS 42	40	180
<b>Durchgang 3</b>				
14	Beginn Versuchsstrecke 120 km/h	Autobahn nach AS 42	41,5	120
15	Ende Versuchsstrecke 120 km/h	Autobahn 1. Hälfte der Strecke	46,5	120
16	Beginn Versuchsstrecke 160 km/h	Autobahn 2. Hälfte der Strecke	46,5	160
17	Ende Versuchsstrecke 160 km/h	Autobahn vor AS 43	50,5	160
18	Beginn Versuchsstrecke 180 km/h	Autobahn nach AS 43	51,5	180
19	Ende Versuchsstrecke 180 km/h	Autobahn vor AS 42	60,5	180
20	Vp steht / Kalibrierung	Ende	62	0

Tabelle 5-4: Versuchsabschnitte systematische Fahrversuche Teil 3

Die nachfolgende Graphik zeigt eine Skizze der Versuchsstrecke sowie den Versuchsablauf, mit den Markern, die zu den definierten Zeitpunkten gesetzt wurden.

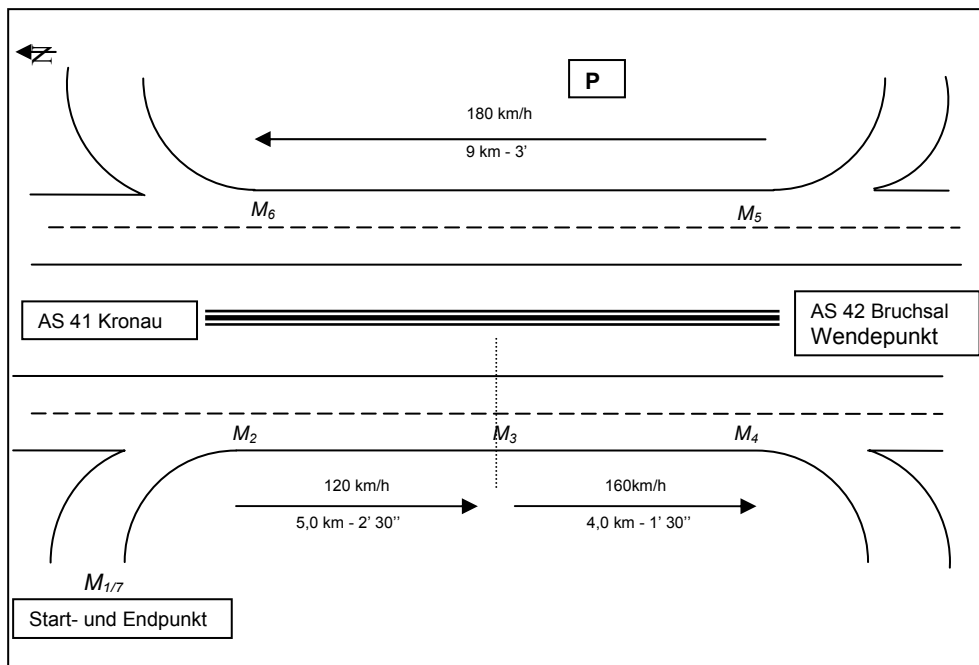


Abbildung 5-4: Skizze der Versuchsstrecke und des Versuchsablaufes

Am Tag der Versuchsdurchführung war es leicht bewölkt, die Temperaturen lagen bei Versuchsbeginn 8:40 Uhr bei 15° C und stiegen bis Versuchende (15:00 Uhr) auf 22° C. Die relative Luftfeuchte lag bei ca. 69%.

#### 5.4.3 Eingesetzte Messtechnik

Die Messtechnik bestand im Wesentlichen aus den bekannten Modulen der PPLBP Messkette. Da im Vordergrund die Erfassung der Muskelkräfte stand, wurden rechts und links EMG Messungen am Musculus sternocleidomastoideus durchgeführt. Zusätzlich wurde die Geschwindigkeit des Projektmotorrades und die Beschleunigung am Helm erfasst. Die Beschleunigung wurde im Rahmen des Projektes nicht weiter ausgewertet.

## 6 VERSUCHSAUSWERTUNG

Die Auswertung des im Rahmen des Projektes erhobenen Datenmaterials gliedert sich in mehrere Abschnitte. In einem ersten Schritt werden die Ziele der Datenauswertung sowie die notwendigen statistischen Berechnungen näher beschrieben. Anschließend erfolgt die Auswertung der aeroakustischen Daten, wobei die Grundlage des Datenmaterials erläutert wird und insbesondere die Frequenzspektren in Abhängigkeit von der Sitzposition, bzw. der Geschwindigkeit. Danach werden die Schalldruckpegel der einzelnen Helmtypen, die beim Akustikmessdummy und bei den Vpn (im Windkanal und bei den systematischen Fahrversuchen) ermittelt wurden, vergleichend gegenübergestellt. Die Auswertung der aerodynamischen Messdaten umfasst die Kraftmessdaten, die am Kraftmessroboter und am Kraftmesshelm gemessen wurden. In dem Unterkapitel Auswertung der psychophysiologischen Messdaten werden die EMG- und EKG-Messungen dargestellt, jeweils vorangehend mit einer Erklärung und anschließend mit einer vergleichenden Gegenüberstellung. Bei den Temperaturmessungen erfolgt eine deskriptive Darstellung der Temperaturverläufe, um abschließende Aussagen zur Absoluttemperatur und der Funktion der Belüftungseinrichtungen machen zu können. Eine rechnerische Korrelation der Helminnentemperaturen war nicht zielführend. Die Abbildung 6-1 stellt eine Gesamtübersicht über die Versuche und die während der Versuche ermittelten Daten dar. Insgesamt sind die vier Datenfelder **Windkanalversuche** (in Braunschweig), **systematische Fahrversuche Teil 1** (Landau a. d. Pfalz), **systematische Fahrversuche Teil 2** (BAB 5; Bruchsal – Kronau) und **systematische Fahrversuche Teil 3** (BAB 5; Bruchsal – Kronau) zu unterscheiden.

Während bei den Windkanalversuchen und systematischen Fahrversuchen psychophysiologische, akustische, fahrzeugrelevante und fotografische Daten erhoben wurden, erfolgte bei den systematischen Fahrversuchen Teil 2 eine aufwendigere Messung und Systematik zur Erfassung der Helminnentemperatur. Die systematischen Fahrversuche Teil 3 wurden mit einer Auswahl an Projekthelmen, weiteren Vpn und eine auf die Erfassung der Muskelkräfte spezialisierte Messtechnik durchgeführt.

Insgesamt wurden Daten in der Größe von ca. 2,7 GB gespeichert, wobei den größten Anteil die automatisch angefertigten Bilder während der Versuche im Windkanal einnehmen. Anhand dieser Bilder wird die Position der Helme während der Auswertung dokumentiert und rekonstruiert. In Tabelle 6-1 ist eine Übersicht der erhobenen Daten zusammengefasst.

Versuchsart	Erhobene Parameter	Dateiformat	Messmedium	Rohdatenumfang
<b>Windkanal</b>	Kräfte und Momente	ASCII via MATLAB	Kraftmessroboter	40,0 MB
	Psycho-physische Messungen	ASCII via BIOLINK	Freiwillige Vpn	25,1 MB
	Akustikmessungen	Wav via ADAT	Messpuppe mit Akustikkunstkopf	98,0 MB
		Wav via ADAT	Freiwillige Vpn mit In Ear Mikrofon	1159,0 MB
	Fotodokumentation	JPEG	Foto Dokumentation	1185,0 MB
<b>Systematische Fahrversuche Teil 1</b>	Psycho-physische Messungen	ASCII via BIOLINK	Freiwillige Vpn	28,9 MB
	Akustikmessungen	Wav via DAT	Freiwillige Vpn, mit In Ear Mikrofon	8 DAT a 120 min
	Fotodokumentation	JPEG	Freiwillige Vpn	168,0 MB
<b>Systematische Fahrversuche Teil 2</b>	Temperatur Messungen	ASCII via BIOLINK	Freiwillige Vp	2,8 MB
<b>Systematische Fahrversuche Teil 3</b>	Psycho-physische Messungen (EMG)	ASCII via BIOLINK	Freiwillige Vp	12,0 MB
<b>Summe</b>				<b>2718,8 MB</b>

Tabelle 6-1: Übersicht der erhobenen Daten

## 6.1 Ergebnisse, erhobene Daten

Nachfolgend wird eine Gesamtübersicht über die einzelnen Versuchsphasen sowie Art und Datenumfang der erhobenen Messwerteparameter gegeben.

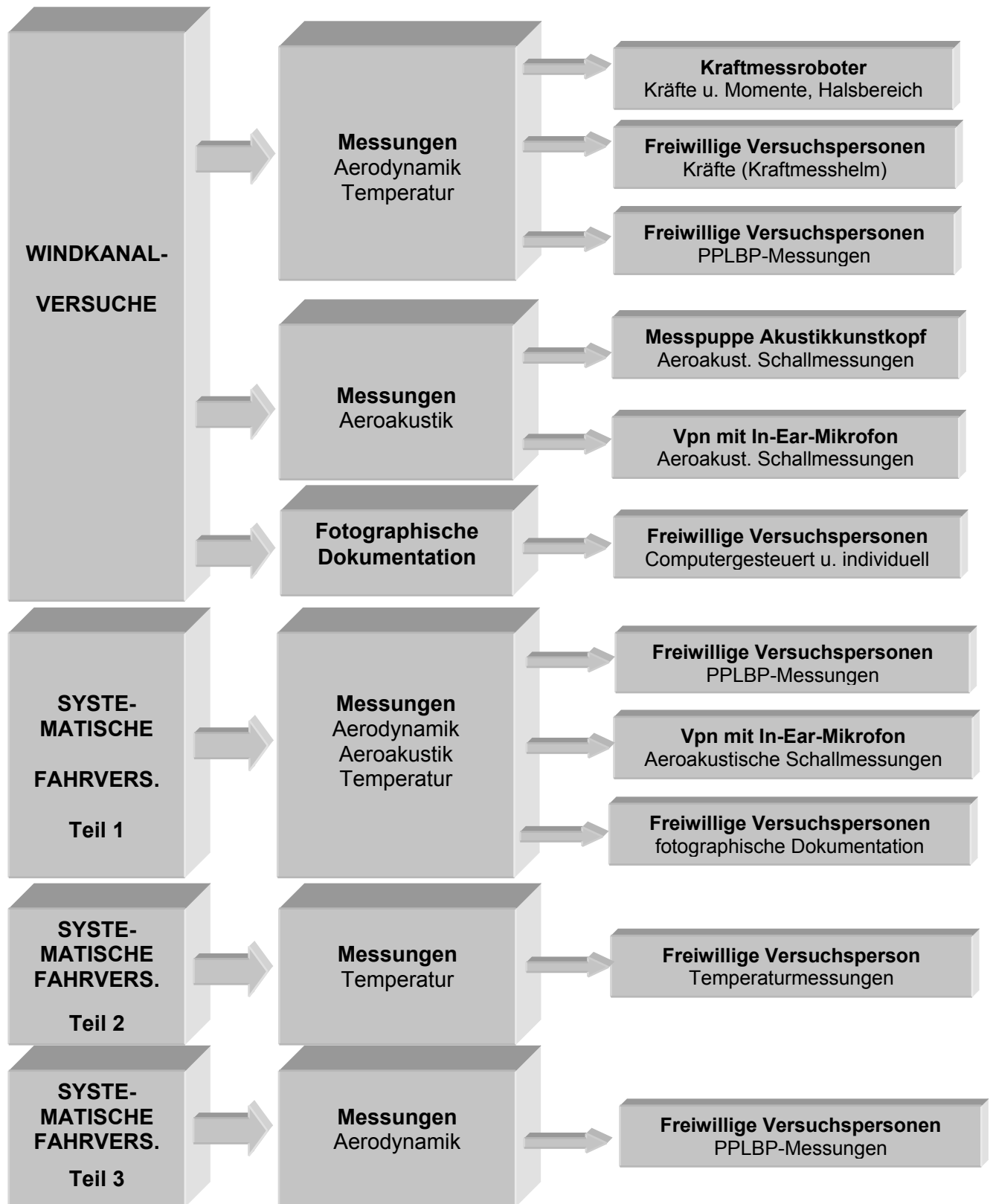


Abbildung 6-1: Gesamtübersicht der durchgeführten Versuche

## 6.2 Aspekte der Auswertung

### 6.2.1 Ziel der Auswertung

Ziel der Auswertung ist es, eine Übersicht über durch Motorradhelme beeinflusste physiologische und mentale Belastungen des Motorradfahrers zu erhalten, um Kriterien und Vorschläge zur Verbesserung der aktiven Sicherheit von Motorradschutzhelmen zu entwickeln.

#### Aeroakustische Messungen

- Analyse der im Helm gemessenen Schalldruckpegel bei den zwölf Projekthelmen und den Versuchsgeschwindigkeiten 120 und 160 km/h.

#### Aerodynamische Messungen

- Darstellung der am Helm wirkenden Kräfte, bei den Versuchsgeschwindigkeiten von 80, 120 und 160 km/h.

#### Psychophysiologische Messungen

- Anhand von Muskeltonusmessungen (EMG Messungen) am Musculus Sternocleidomastoideus (Kopfhaltemuskelatur) werden die aerodynamischen Widerstandskräfte der Helme von verschiedenen Versuchspersonen verglichen. Zusätzlich werden diese Messungen den Daten des Kraftmesshelmes gegenübergestellt.
- Untersuchung des Einflusses der verschiedenen Projekthelme auf die psychophysiologischen Leistungs- und Befindlichkeitsparameter. Visuelle Überprüfung der Messwertegruppen von Pulsfrequenz, Sinusarrhythmie und elektrodermalen Aktivität auf Abweichungen und Auffälligkeiten, sowie Untersuchung der Entwicklung der Einzelparameter in den verschiedenen Geschwindigkeitsbereichen.

#### Temperatur

- Analyse des Verlaufs der Helminnentemperatur, in Abhängigkeit von Belüftungseinstellung und Geschwindigkeit unter Berücksichtigung der Außentemperatur.

Nach erfolgter Auswertung werden die in den verschiedenen Untersuchungsbereichen gewonnenen Einzelergebnisse mit Referenzwerten aus der Literatur verglichen und bezüglich ihres Einflusses auf die aktive Sicherheit von Motorradhelmen bewertet.

### 6.2.2 Statistische Aspekte

In einer ersten Sichtung mit anschließender Vorauswertung wurden die ermittelten Daten auf ihre Aussagekräftigkeit hin überprüft. Variablen mit geringer Aussagekraft wurden nicht dem vollen Auswerteschema unterworfen.

Nach der Aufbereitung der Daten erfolgte die Auswertung, die in einer ersten Phase aus einer Beschreibung der ermittelten Messwerte bestand. Hierbei wurden zunächst intraindividuell die Variablen der einzelnen Projekthelme bei den verschiedenen Versuchsgeschwindigkeiten dargestellt und näher beschrieben. Anschließend wurden interindividuell die Variablenwerte der einzelnen Projekthelme einander gegenübergestellt.

#### Lage- und Streuungsmaße

Als Lagemaße wurden je nach Messungen das arithmetische Mittel, das logarithmische Mittel sowie der Median der Messwerte analysiert. Als Streuungsmaße wurden für die Messwerte die Varianz ( $s$ ), die Standardabweichung ( $\sigma$ ), der Variationskoeffizient, der Maximal- und Minimalwert sowie die Spannweite ( $R$ ) (Range) angegeben. Nachfolgend sind die einzelne Maße und die damit verbundenen Aussagemöglichkeiten beschrieben.

Das arithmetische Mittel gibt Aufschluss über den Durchschnittswert der vorliegenden Werte. Es wird sehr häufig als Lagemaß benutzt, wird aber von Ausreißern sehr stark beeinflusst. Das arithmetische Mittel berechnet sich zu:

$$\bar{x}_{arithm} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Aus physikalischer Sicht, müssen in der Akustik Mittelwerte verschiedener Schalldruckpegel als energetischer, bzw. logarithmischer Mittelwert nach der folgenden Formel gebildet werden. Beträgt jedoch die Spannweite der zu mittelnden Schalldruckpegel nicht mehr als 6 dB, so erscheint es gerechtfertigt, das arithmetische Mittel zu bilden (Fasold, 1984).

$$\bar{L}_{energetisch} = 10 \cdot \log \left( \frac{10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \dots + 10^{L_N/10}}{N} \right) \text{ energetischer Mittelwert}$$

Im Gegensatz zum Mittelwert ist der Median robuster gegenüber Ausreißern und eignet sich gut als Lageparameter für nicht normal verteilte Grundgesamtheiten.

Der Median wird mit der folgenden Formel berechnet:

$$\tilde{x} = \begin{cases} x_{(n+1)/2} & \text{n ungerade} \\ \frac{1}{2} (x_{(n/2)} + x_{(n/2)+1}) & \text{n gerade} \end{cases}$$

Die Varianz ist das arithmetische Mittel der Abweichungsquadrate. Die Varianz ist ein Maß für die Entfernung einzelner Werte im Durchschnitt vom Mittelwert. Nachteil der Varianz ist, dass diese Größe eine andere Einheit hat, als die Daten.

$$s = \frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Dieser Nachteil ist bei der Standardabweichung aufgehoben. Die Standardabweichung ist ein Maß für die Streuung der Werte um ihren Mittelwert. Sie ist die Quadratwurzel der Varianz und wird mit folgender Formel berechnet:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{s}$$

Der Variationskoeffizient ist definiert als die relative Standardabweichung und wird in Prozent angegeben. Dabei wird die Standardabweichung durch den Mittelwert dividiert:

$$\text{VarK}(x) = \frac{\text{Standardabweichung}(x)}{\text{Mittelwert}(x)} \cdot 100\%$$

Maximal- und Minimalwert sind die größten und kleinsten Messwerte einer Zahlenreihe mit denen die Spannweite berechnet werden kann. Die Spannweite ist ein sehr einfaches Streuungsmaß:

$$R = x_{\max} - x_{\min}$$

Obwohl für alle Werte die oben genannten Lage- und Streuungsmaße berechnet wurden, werden in der Auswertung nur die Lage- und Streuungsmaße angegeben, die nach vorangegangener Sichtung der Werte als besonders aussagekräftig gelten.



### 6.3 Darstellung der aeroakustischen Messdaten

Nachfolgend werden die Ergebnisse der aeroakustischen Messungen im Windkanal sowie bei den systematischen Fahrversuchen dargestellt.

Alle Ergebnisse wurden, sofern nicht ausdrücklich mitgeteilt, in „Normalposition“ (siehe unten) ermittelt. Die dargestellten Werte sind die arithmetischen Mittelwerte der Messung am linken und am rechten Ohr. Der aus der arithmetischen Mittelung hervorgehende Fehler beträgt bei einer Spanne der Schalldruckpegel bis 6 dB - maximal -1 dB (bei einer Pegelspannweite bis 10 dB - maximal 2,4 dB). In der vorliegenden Untersuchung erschien es zulässig, eine vereinfachte arithmetische Mittelung durchzuführen; es hat sich jedoch gezeigt, dass die Anwendung der logarithmischen Mittelung wahrscheinlich zu einer präziseren Ergebnisauswertung führen wird.

Die Aeroakustikmessungen beinhalteten nur Messungen mit Helm. Nach Literaturangaben sind ohne Helm höhere Schalldruckpegel zu erwarten; nach van Moorhem (1982) sind ab einer gefahrenen Geschwindigkeit von 36 km/h die Schalldruckpegel ohne Helm um 10 bis 20 dB(A) (je nach Vergleichshelm) höher, als bei gleicher Geschwindigkeit mit Helm.

Nachfolgend wird zunächst ein Überblick über die unterschiedlichen, erhobenen Messdaten (Frequenzspektren) gegeben. Diese sind Grundlagen für die Ergebnisdarstellung der Aeroakustikmessungen.

#### 6.3.1 Grundlage der Auswertung

##### 6.3.1.1 Geräuschaufzeichnung in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit

Zunächst wurden von den zwölf Projekthelmen bei Einsatz der drei Vpn sowie der Messpuppe Geräuschaufzeichnungen im Windkanal vorgenommen.

Aus diesen Aufzeichnungen wurden Frequenzspektren (Terzspektren) und Gesamtschalldruckpegel für die festgelegten Untersuchungsgeschwindigkeiten 80, 120 und 160 km/h ermittelt.

Das Frequenzspektrum für den SC C2, linke und rechte Seite, in der Normalposition bei den drei Geschwindigkeiten 80, 120 und 160 km/h, ist in Abbildung 6-2 dargestellt. Weiterhin wird der Ausgangs-Schalldruck (OSPL – Over all Sound Pressure Level) für die einzelnen Versuchsgeschwindigkeiten differenziert nach Messung links und rechts gezeigt. Die Geräuschemessungen werden im 1/3 Oktavspektrum (Terzspektrum) durchgeführt. Die Bereiche L - M - H sind die Summenpegel mit den Trennfrequenzen zwischen L (low) und M (middle) von 125 Hz und zwischen M und H (high) von 1 kHz. Bei allen Versuchspersonen sowie bei der Messpuppe lieferten die M -Summenpegel (125 bis 1 kHz) die höchsten Werte, diese Beobachtung war weiterhin unabhängig von Projekthelm, Windkanalgeschwindigkeit und eingenommener Position auf dem Motorrad.

Die Lichtbildaufnahmen unter den Diagrammen zeigen die Vpn bei der Geschwindigkeit 160, 120, 80 (von links nach rechts), jeweils in Normalposition.

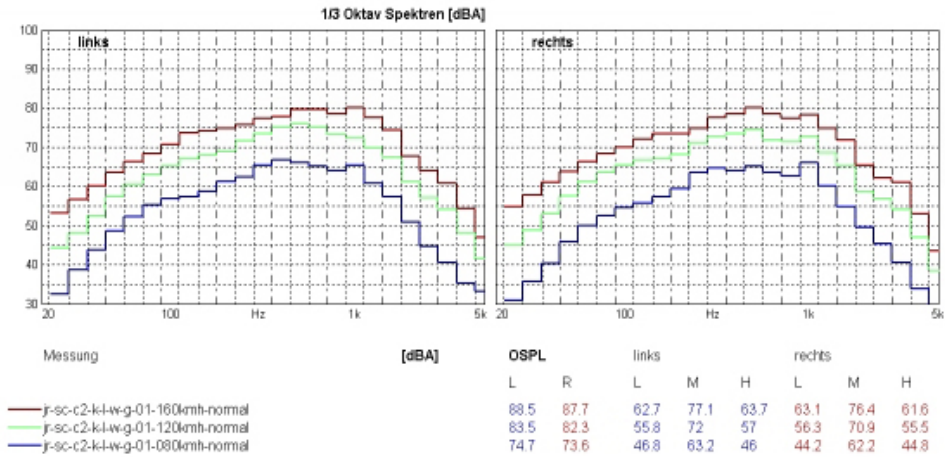


Abbildung 6-2: Frequenzspektrum Normpos. (80, 120, 160km/h); SC C2, JR

Analog zu den Windkanalversuchen mit Vpn zeigt Abbildung 6-3 die Ergebnisse der Versuche, die mit der Akustikmesspuppe durchgeführt wurden.

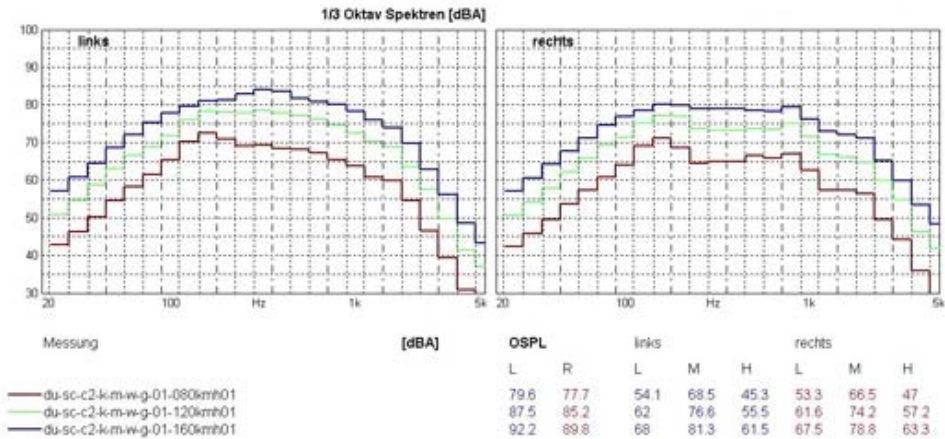


Abbildung 6-3: Frequenzspektrum Normpos. (80, 120, 160km/h); SC C2, Messpuppe

Entsprechend den vorangegangenen Abbildungen zeigt die nachfolgende Abbildung 6-4 das Frequenzspektrum, sowie den Schalldruckpegel für den im Windkanal lautesten geschlossenen Helm (NE MO). Eine Erhöhung des Schalldruckpegels bei gleichzeitiger Verschiebung des Maximalpegels in einen höheren Frequenzbereich ist deutlich zu erkennen.

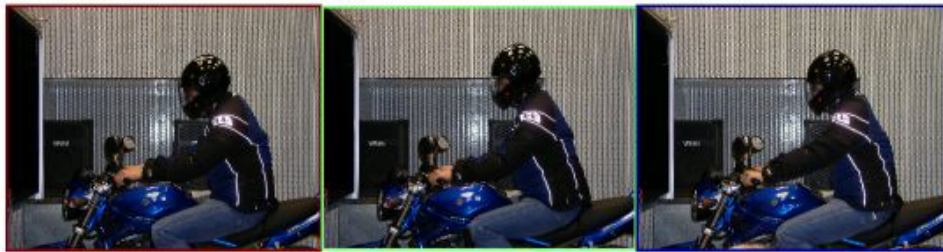
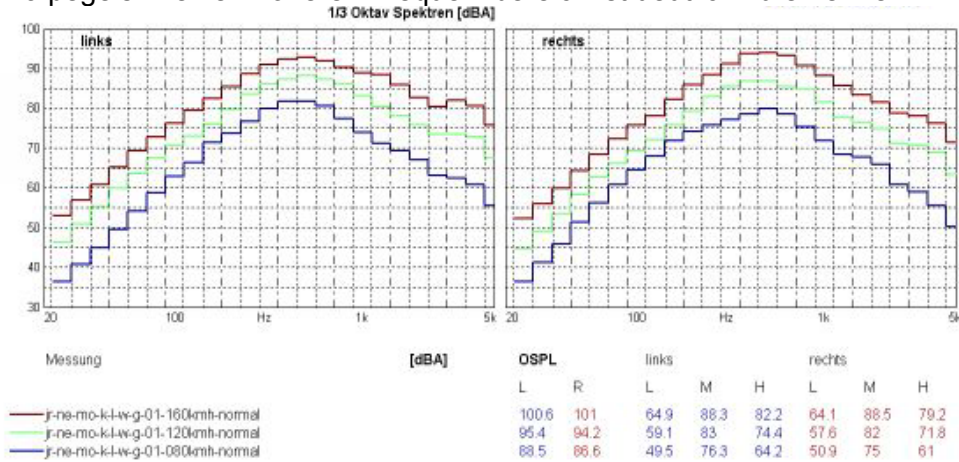


Abbildung 6-4: Frequenzspektrum Normpos. (80, 120, 160km/h); NE MO, JR

Abbildung 6-5 zeigt das mit der Messpuppe ermittelte Frequenzspektrum des „lautesten“ Integralhelms der Untersuchung. Wie schon beim leisesten Helm der aeroakustischen Untersuchungen im Windkanal, sind auch beim „lautesten“ Helm die Messwerte der Messpuppe gegenüber den Messwerten der Vpn größer, was darauf zurückzuführen ist, dass die Helme trotz korrekter ausgewählter Helmgröße nicht optimal auf den Kopf der Messpuppe passen.

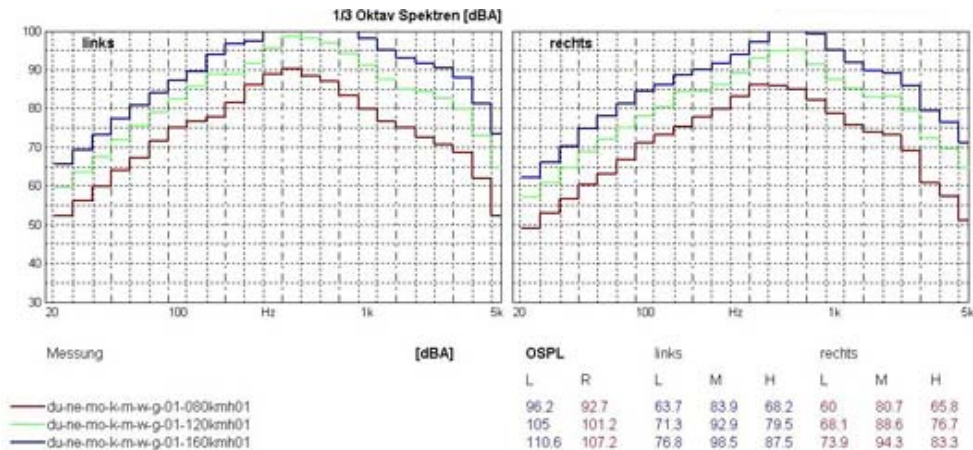


Abbildung 6-5: Frequenzspektrum Normpos. (80, 120, 160km/h); NE MO, Messpuppe

### 6.3.1.2 Geräuschaufzeichnung in Abhängigkeit von der Sitzposition

In der nächsten Abbildung 6-6 sind im rechten Teil des Diagramms gemittelte Spektren für die fünf im Versuch eingenommenen Sitzpositionen für die Geschwindigkeit 120 km/h angegeben. Das linke Teildiagramm zeigt den Abstand zur Düse in den fünf eingenommenen Versuchspositionen sowie den dazugehörigen Schalldruckpegel.

Die Verschiebung der Helmposition der Versuchsperson erfolgte sukzessive in 5 Schritten, wobei die Normalposition, im Diagramm als blaue Linie gekennzeichnet, von der Versuchsperson nach eigenem Ermessen gewählt wird.

Der SC C2 (Vp: JR) zeigt einen relativ gleich bleibenden Wert über der Verschiebung des Helmes in Richtung Motorradfront, also geringer werdendem Abstand zur Düse.

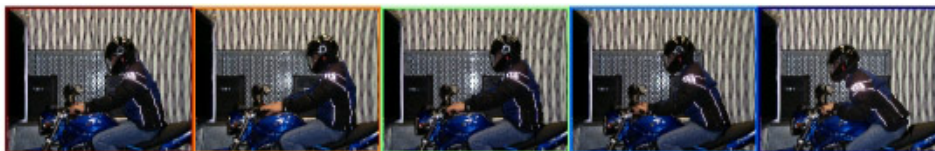
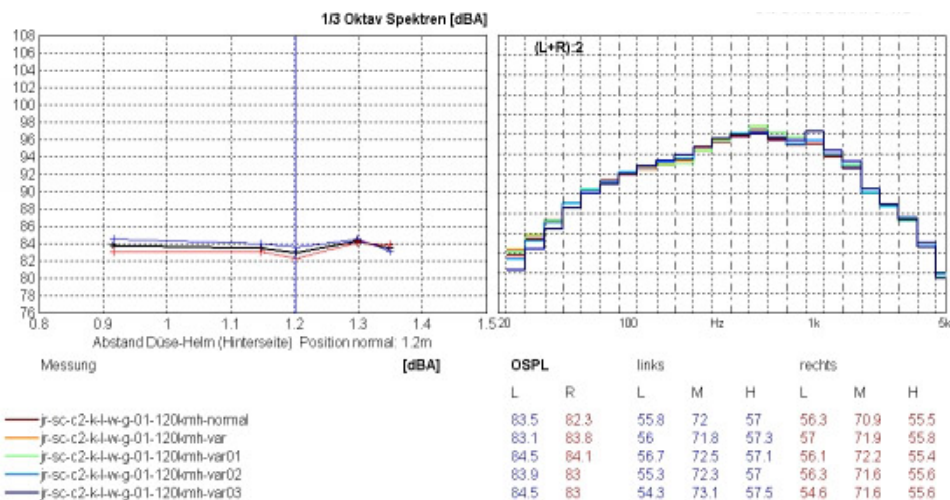


Abbildung 6-6: Kennlinie Geräuschpegel und Frequenzspektrum; 120km/h; SC C2; JR

Vergleichend wird hierzu die Kennlinie des NO N8 (Vp: II) aufgetragen (siehe Abbildung 6-7). Es ist zu erkennen, dass mit geringer werdendem Abstand zur Düse der Schalldruckpegel stark ansteigt; eine Vergrößerung des Abstandes, bezogen auf die Normalposition, hat hingegen kaum Auswirkung auf den gemessenen Schalldruckpegel.

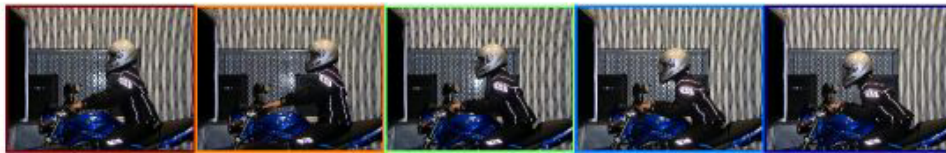
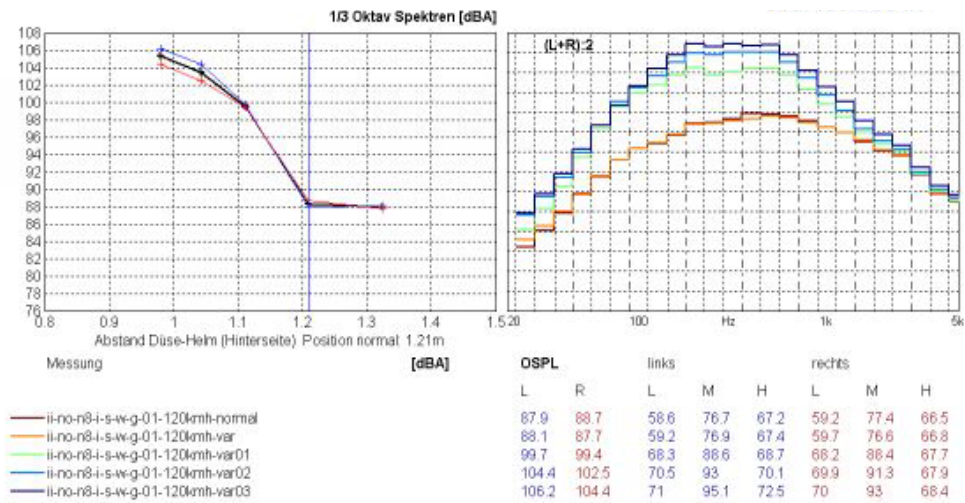


Abbildung 6-7: Kennlinie Geräuschpegel und Frequenzspektrum; 120km/h; NO N8; II

Generell steigt der Schalldruckpegel je weiter die Versuchsperson nach vorne rutscht und eine damit verbundene Neigung des Oberkörpers einleitet.

### 6.3.2 Windkanalversuche

Bei allen Diagrammen, die die Helme vergleichend darstellen, wurde zur besseren Übersichtlichkeit eine sortierende Reihenfolge gewählt, die im einzelnen erläutert wird. Dadurch verändert sich die Helmreihenfolge, jedoch erleichtert diese Vorgehensweise, die in den Versuchen erhobenen Messwerte bezüglich ihrer Größe und Spannweite schneller zu erfassen und einen Überblick über die akustischen Qualitäten der Projekthelme zu erhalten.

#### 6.3.2.1 Messungen mit der Akustikmesspuppe

Die an der Messpuppe gewonnenen Akustikmesswerte für die Geschwindigkeiten 80, 120 und 160 km/h werden in der nachfolgenden Tabelle wiedergegeben. Die Spannweite zwischen minimalem und maximalem Wert (leiser Helm, lauter Helm) lag bei den Versuchsgeschwindigkeiten im Durchschnitt bei 22 dB(A). Der niedrigste Wert lag bei 78 dB(A) (80 km/h) und der höchste Wert lag bei 114 dB(A) (160 km/h).

Messwert	MIN	MAX	SPANNWEITE
WK_Du_80km/h_Normalpos	77,73	98,99	21,27
WK_Du_120km/h_Normalpos	86,06	108,27	22,22
Wk_Du_160km/h_Normalpos	91,16	114,00	22,84

In der folgenden Tabelle ist zu erkennen, dass bei einer Erhöhung der Versuchsgeschwindigkeit von 80 auf 120 km/h der Schalldruckpegel im Helm um ca. 9 dB(A) ansteigt. Aus einer Erhöhung der Versuchsgeschwindigkeit auf 160 km/h resultiert eine weitere Schalldruckpegelerhöhung um ca. 6 dB(A) bezogen auf den Schalldruckpegel, der bei 120 km/h gemessen wurde. Bei allen Projekthelmen ist somit eine Erhöhung des Schalldruckpegels um ca. 15 dB(A) bei einer Verdopplung der Versuchsgeschwindigkeit (80 auf 160 km/h) zu erkennen.

Diese Zusammenhänge sind weitgehend unabhängig von Helmtyp oder akustischer Qualität des Helmes und bei den Messpuppenversuchen im Windkanal deutlich erkennbar.

Dummy	UV BO	UV FX	AI SV	PR RF	NO N8	NE MO	NE AR	SC S1	SC C2	SC J1	SH XR	LI BQ	MIN	MAX	MW
80 auf 120km/h	10,1	9,9	9,5	9,7	9,8	8,7	9,3	8,3	7,7	8,6	10,7	8,7	7,7	10,7	9,3
120 auf 160km/h	5,5	5,2	6,8	6,0	6,9	5,7	5,7	6,2	4,7	5,6	7,9	4,9	4,7	7,9	5,9

In Abbildung 6-8 sind die im Windkanal gemessenen Schalldruckpegel der Messpuppe bei den Geschwindigkeiten von 80, 120 und 160 km/h dargestellt.

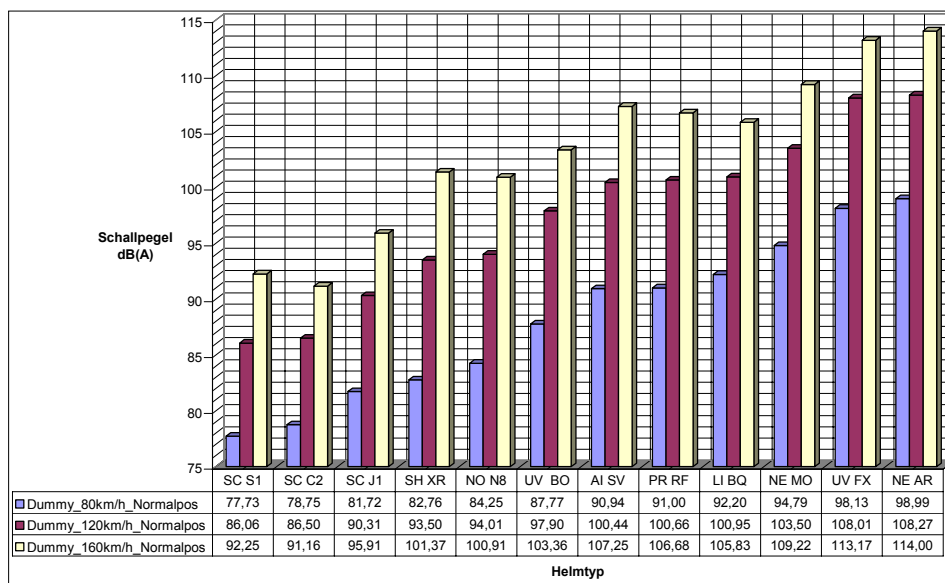


Abbildung 6-8: Schalldruckpegel bei 80, 120 und 160 km/h; Messpuppe; Windkanal

### 6.3.2.2 Messungen mit Versuchspersonen

Nachstehend sind die Ergebnisse der Windkanal Messungen an den Versuchspersonen dargestellt.

Bei der Geschwindigkeit von 80 km/h wurden bei Berücksichtigung aller drei Versuchspersonen Minimalwerte von 71 dB(A) und Maximalwerte von 94 dB(A) gemessen. Die Werte für die einzelnen Versuchspersonen sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

Die individuelle Spannweite der Messwerte liegt zwischen 16 und 20 dB(A). Bei der Akustikmesspuppe wurde bei 80 km/h eine Spannweite der Messwerte von 21 dB(A) ermittelt.

Schalldruckpegel Vpn 80 km/h	MIN	MAX	SPANNW.	Abs. MIN	Abs. MAX	Abs. SPANNW.
JR_80km/h_Normalpos	74,18	94,36	20,17	70,90	94,36	23,45
KS_80km/h_Normalpos	77,70	93,28	15,58			
II_80km/h_Normalpos	70,90	90,27	19,37			

Die Messwerte für die einzelnen Versuchshelme und Versuchspersonen sowie der aus den Messwerten der Einzelpersonen gebildete Mittelwert sind in Abbildung 6-9, sortiert nach „Mittelwert 80 km/h Normalpos“, dargestellt.

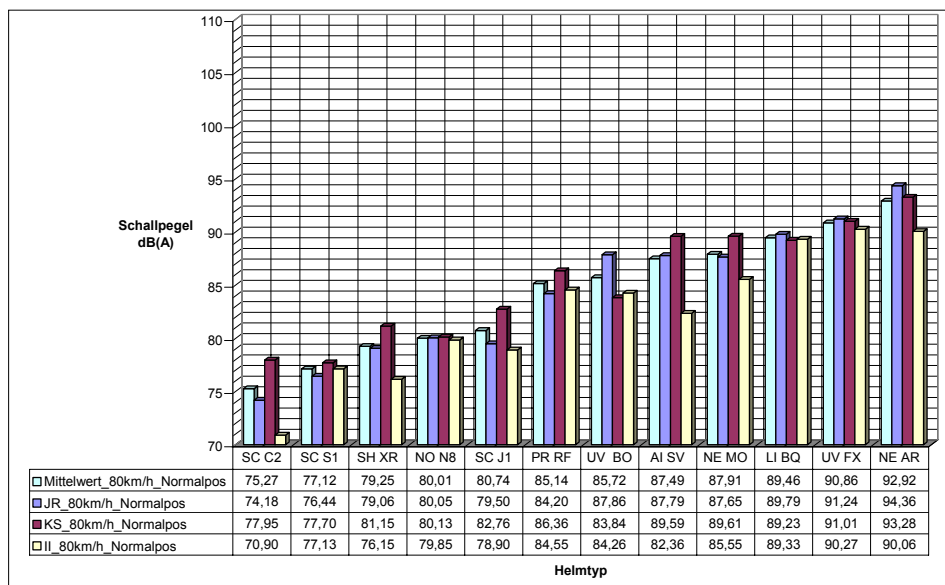


Abbildung 6-9: Schalldruckpegel Vpn, 80 km/h; Normalposition – Windkanal

Bei den Windkanalmessungen bei einer Geschwindigkeit von 120 km/h mit Versuchspersonen lag der geringste gemessene Wert bei 79 dB(A) und der Maximalwert bei 104 dB(A). Hieraus ergibt sich eine absolute Spannweite über alle Versuchspersonen und alle Projekthelme von 25 dB(A); siehe auch nachfolgende Tabelle.

Die individuelle Spannweite der Messwerte liegt zwischen 19 und 21 dB(A). Die Spannweite der Messwerte der Akustikmesspuppe liegt, wie schon bei 80 km/h; mit 22 dB(A) leicht über den bei den Versuchspersonen ermittelten Werten.

Schalldruckpegel Vpn 120 km/h	MIN	MAX	SPANNW.	Abs. MIN	Abs. MAX	Abs. SPANNW.
JR_120km/h_Normalpos	82,94	103,88	20,94	78,71	103,88	25,17
KS_120km/h_Normalpos	83,20	101,72	18,52			
II_120km/h_Normalpos	78,71	97,63	18,92			

Die Erhöhung der Versuchsgeschwindigkeit von 80 auf 120 km/h bewirkte eine Erhöhung des gemessenen Schalldruckpegels um durchschnittlich 8,8 dB(A); die durchschnittlich geringsten Erhöhungen wurden bei der Vpn KS mit 8,3 dB(A), die größten Differenzen der Messwerte zwischen den Versuchsgeschwindigkeiten 120 und 160 km/h wurden bei der A-kustikmesspuppe mit 9,3 dB(A) festgestellt.

Differenzen der Schalldruckpegel (120 / 80 km/h)	MIN	MAX	MITTELWERT	MEDIAN
120 / 80 km/h JR	7,19	14,10	9,00	8,31
120 / 80 km/h KS	5,25	10,62	8,25	8,58
120 / 80 km/h II	7,19	11,60	8,79	8,28
120 / 80 km/h Du	7,75	10,74	9,26	9,39

Abbildung 6-10 zeigt die für rechts und links gemittelten Schalldruckpegel der Versuchspersonen sowie den Durchschnitt der drei Messungen bei einer Windkanalgeschwindigkeit von 120 km/h sortiert nach dem Mittelwert der drei Versuchspersonen.

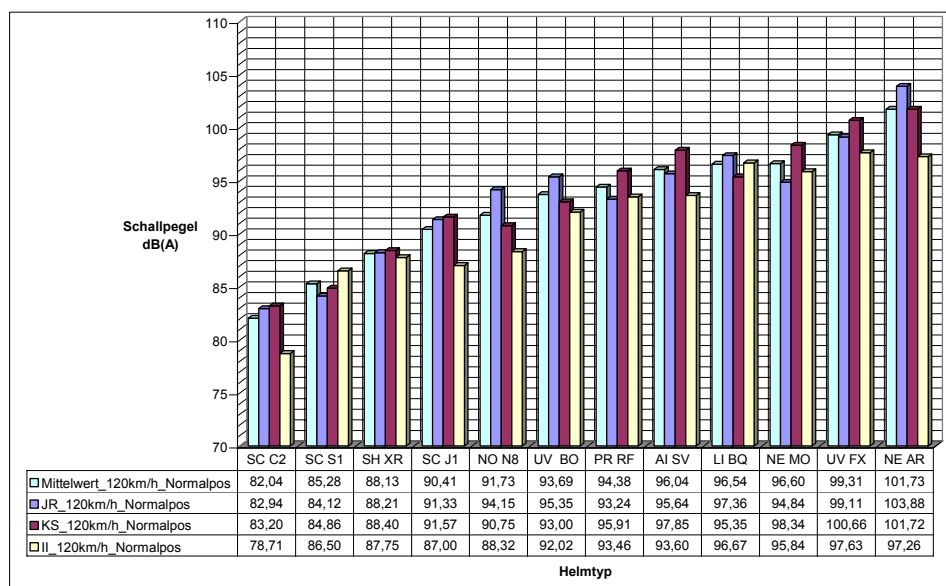


Abbildung 6-10: Schalldruckpegel Vpn, 120 km/h; Normalposition – Windkanal

Erwartungsgemäß liegen die Messwerte bei einer Geschwindigkeit von 160 km/h in einem wesentlich höheren Bereich, wie die nachfolgende Tabelle zeigt. So liegen die Minimalwerte der Versuchspersonen zwischen 86 und 91 dB(A). Die Maximalwerte liegen eng beieinander zwischen 106 und 108 dB(A).

Die Spannweite zwischen „leisestem“ und „lautestem“ Helm liegt je nach Versuchsperson zwischen 17,2 und 20,4 dB(A) und hat somit eine ähnliche Spanne wie bei den Versuchen mit 120 km/h (18,5 – 20,9 dB(A)). Auch hier zeigt der Vergleich mit den Werten der Akustikmesspuppe, dass diese über denen der Versuchspersonen liegen (Spannweite 160 km/h – 22,8 dB(A)). Über alle Messwerte der Versuchspersonen hinweg ergibt sich eine absolute Spannweite von 22 dB(A).

Schalldruckpegel Vpn 160 km/h	MIN	MAX	SPANNW.	Abs. MIN	Abs. MAX	Abs. SPANNW.
JR_160km/h_Normalpos	88,12	108,01	19,90	85,66	108,01	22,36
KS_160km/h_Normalpos	90,60	107,80	17,20			
II_160km/h_Normalpos	85,66	106,06	20,40			

Die Erhöhung der Versuchsgeschwindigkeit von 120 auf 160 km/h brachte eine Erhöhung der gemessenen Schalldruckpegel der einzelnen Projekthelme um durchschnittlich 6,4 dB(A); dieser Wert liegt deutlich unter dem Wert der Schalldruckpegelerhöhung zwischen 80 und 120 km/h, der bei durchschnittlich 8,82 dB(A) lag (folgende Tabelle).



Differenzen der Schalldruckpegel (160/120 km/h)	MIN	MAX	MITTELWERT	MEDIAN
160 /120 km/h JR	3,02	8,90	5,68	5,76
160 /120 km/h KS	4,93	13,99	7,38	7,09
160 /120 km/h II	3,61	9,48	6,49	6,51
160 /120 km/h Du	4,66	7,87	5,92	5,73

Die Einzelergebnisse nach Helm und Versuchsperson, Windkanalgeschwindigkeit 160 km/h, sortiert nach Mittelwert 160 km/h sind Abbildung 6-11 zu entnehmen.

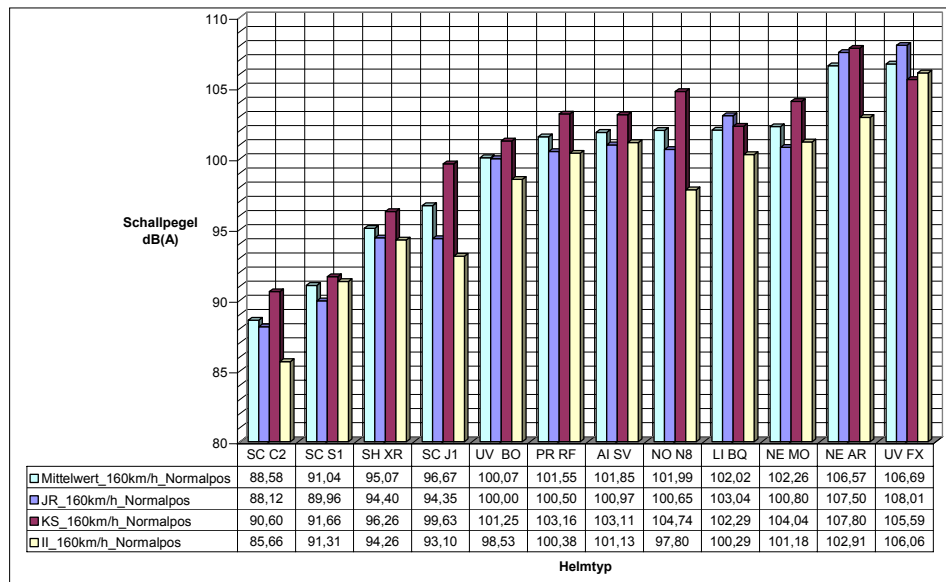


Abbildung 6-11: Schalldruckpegel Vpn, 160 km/h; Normalposition - Windkanal

Eine Zusammenfassung der im Windkanal bei 120 und 160 km/h an den Vpn ermittelten aeroakustischen Werte zeigt Abbildung 6-12. Auffallend ist, dass die Schalldruckpegeldifferenz der Messwerte (bei 120 – 160 km/h) sowohl bei den „leisen“ Helmen wie auch bei den „lauten“ Helmen bei ca. 6 dB(A) liegt. Ebenso verhält es sich, wenn man die Mittelwerte (bei 120 und 160 km/h) der Helme vergleicht; unabhängig von Helmtyp ist ein Anstieg des gemessenen Schalldruckpegels um ca. 6 dB(A) festzustellen. Je nach akustischer Qualität des Helmes erfolgt dieser Anstieg von einem niedrigeren oder einem höheren Niveau.

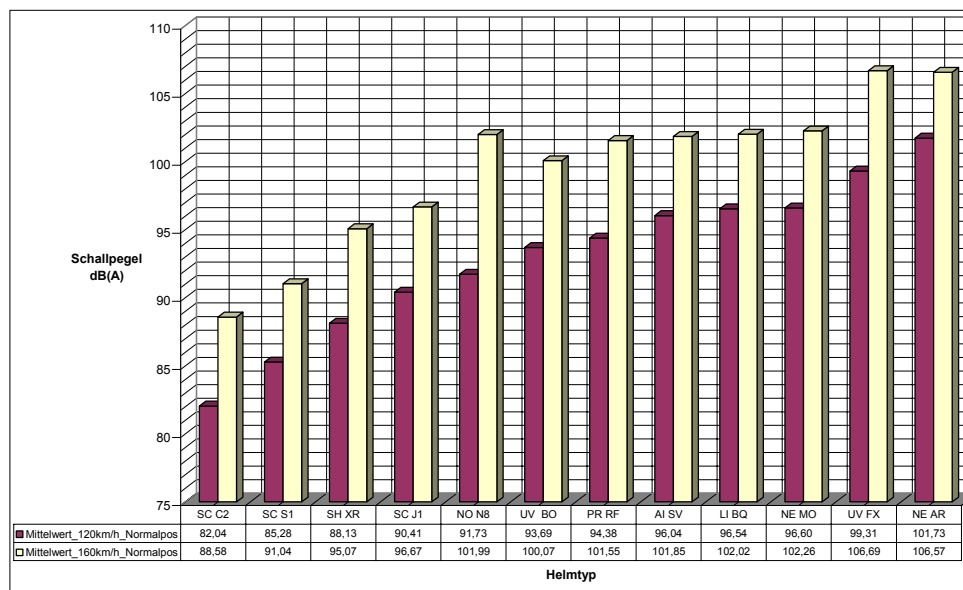


Abbildung 6-12: Schalldruckpegel Vpn, 120 u. 160 km/h; Normalposition – Windkanal

### 6.3.3 Fahrversuche

In den systematischen Fahrversuchen wurden Geschwindigkeiten von 120 und 160 km/h realisiert; die Schalldruckpegel der linken und rechten Seite wurden, wie bei den vorangegangenen Windkanalversuchen, arithmetisch gemittelt.

Der geringste gemessene Schalldruckpegel bei einer Geschwindigkeit von 120 km/h liegt bei 88 dB(A) (92 dB(A) bei 160 km/h) und der absolute Höchstwert bei 105 dB(A) (109 dB(A) bei 160 km/h). Der „leiseste“ Helm bei 120 und 160 km/h war ein Integralhelm der oberen Preisklasse. Sowohl bei 120 als auch bei 160 km/h ist der Helm mit dem größten durchschnittlichen Schalldruckpegel (Mittelwert der Messergebnisse der Versuchspersonen) ein Jethelm; ähnlich hohe Schalldruckpegel lieferte auch der im Versuch gefahrene Crosshelm. Die Spannweite der Schalldruckpegel zwischen dem „lautesten“ und dem „leisesten“ Helm liegt sowohl bei 120 als auch bei 160 km/h bei ca. 17 dB(A), siehe hierzu auch Abbildung 6-13 und Abbildung 6-14

Schalldruckpegel Vpn 120 km/h	MIN	MAX	SPANNW.	Abs. MIN	Abs. MAX	Abs. SPANNW.
JR_120km/h_Normalpos.	88,16	104,79	16,62	87,88	105,20	17,32
KS_120km/h_Normalpos.	87,88	105,20	17,32			
II_120km/h_Normalpos.	88,00	103,52	15,52			

Die Abbildung 6-13 zeigt die gemessenen Schalldruckpegel bei 120 km/h in der normalen Sitzposition für die einzelnen Versuchspersonen und Helme, sowie den Mittelwert.

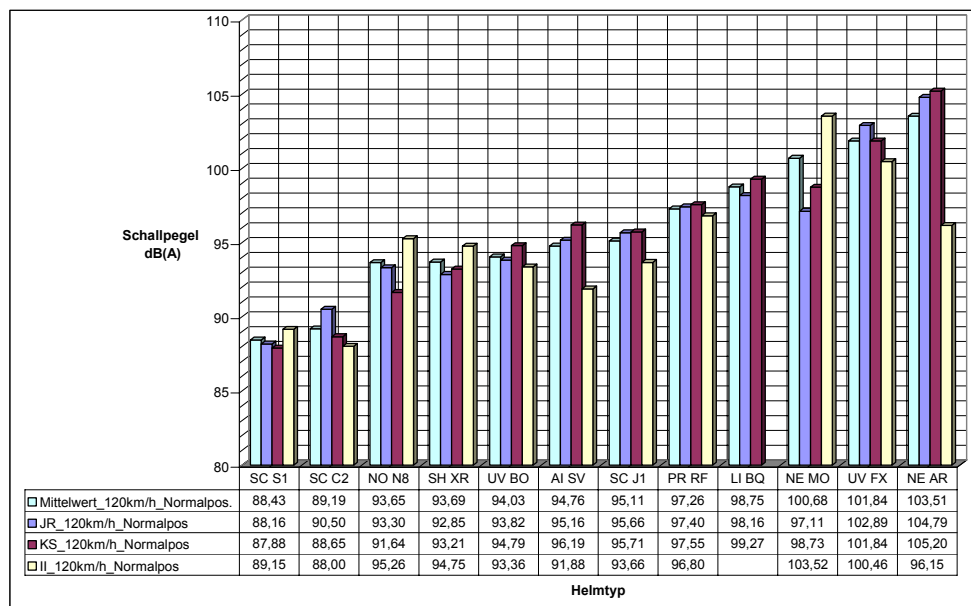


Abbildung 6-13: Schalldruckpegel Vpn bei 120 km/h; Normalposition - Fahrversuche

In den systematischen Fahrversuchen wurden bei einer Geschwindigkeit von 160 km/h Schalldruckpegel von 92 bis 109 dB(A) gemessen. Die Spannweite der Schalldruckpegel zwischen „leisestem“ und „lautestem“ Helm lag bei den Versuchspersonen zwischen 14 und 16 dB(A), über alle Messwerte hinweg ergab sich eine absolute Spannweite von 17 dB(A).

Schalldruckpegel Vpn 160 km/h	MIN	MAX	SPANNW.	Abs. MIN	Abs. MAX	Abs. SPANNW.
JR_160km/h_Normalpos.	92,86	109,09	16,23	92,21	109,09	16,88
KS_160km/h_Normalpos.	92,45	108,10	15,65			
II_160km/h_Normalpos.	92,21	106,42	14,21			

Die Einzelergebnisse der Schalldruckpegelmessung an den Versuchspersonen (Normalposition, 160 km/h) sortiert nach „Mittelwert 160 km/h\_Normalpos.“ sind der folgenden Abbildung 6-14 zu entnehmen.

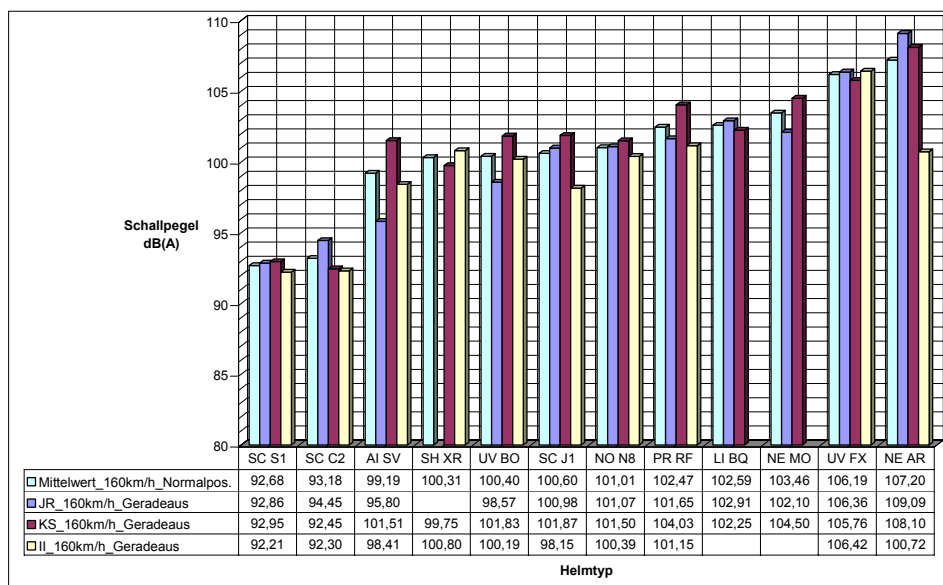


Abbildung 6-14: Schalldruckpegel Vpn bei 160 km/h; Normalposition - Fahrversuche

Die in den Helmen bei den systematischen Fahrversuchen gemessenen Schalldruckpegel lagen bei 160 km/h um Durchschnittlich 5 dB(A) über den bei 120 km/h gemessenen Werten (siehe auch folgende Tabelle).

Zum Vergleich: im Windkanal lag dieser Wert bei 6 dB(A).

Differenzen der Schalldruckpegel (160/120 km/h)	MIN	MAX	MITTELWERT.	MEDIAN
160 / 120 km/h JR	0,64	7,77	4,45	4,69
160 / 120 km/h KS	2,90	9,86	5,49	5,55
160 / 120 km/h II	3,06	6,83	5,13	4,85
Differenzen der gemittelten Werte* 160/120	<b>2,78</b>	<b>7,36</b>	<b>4,87</b>	<b>4,39</b>

\*Gemittelter Schalldruckpegel aus den Messungen der Versuchspersonen (JR/KS/II)

Die Zusammenschau der Messwerte der systematischen Fahrversuche für die Geschwindigkeiten 120 und 160 km/h zeigt deutliche Unterschiede im gemessenen Schalldruckpegel zwischen einzelnen Helmen bzw. Helmtypen und zwischen den beiden Versuchsgeschwindigkeiten, siehe Abbildung 6-15.

Der gemessene Schalldruckpegel bei 160 km/h liegt im Gesamtdurchschnitt aller Helme und Versuchspersonen um ca. 5 dB(A) über den gemessenen Werten bei 120 km/h. Die geringste Schalldruckpegelsteigerung eines Helmes liegt bei 3,02 dB(A), der Maximalwert liegt bei 13,99 dB(A). Ein Zusammenhang zwischen der Schalldruckpegelsteigerung und dem Preis der Helme konnte nicht ausgemacht werden.

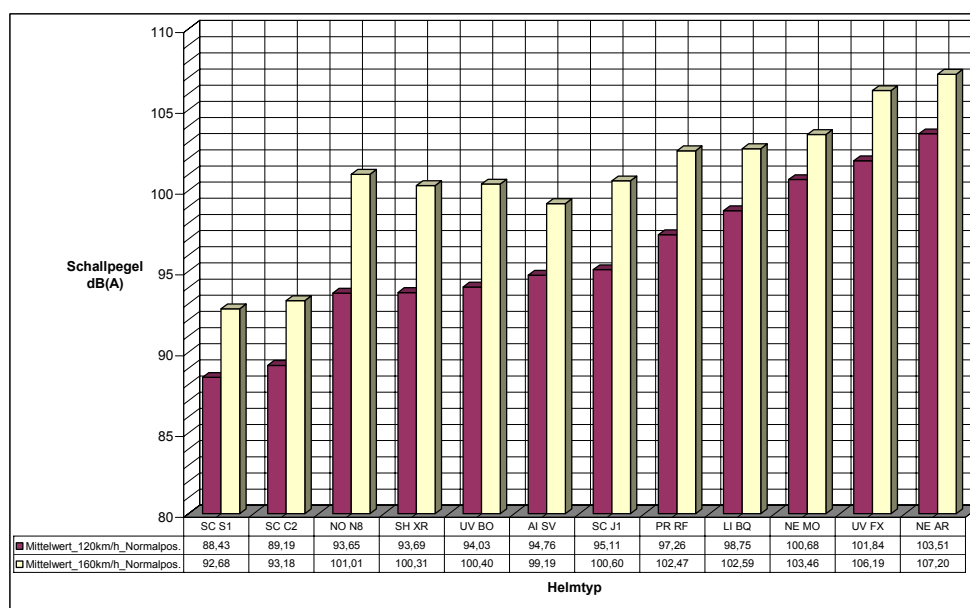


Abbildung 6-15: Schalldruckpegel Vpn, 120 u. 160 km/h; Normalposition – Fahrversuche

Abbildung 6-15 zeigt deutlich, dass die Differenz der Schalldruckpegel zwischen den Messungen bei 120 und 160 km/h weitgehend unabhängig vom gemessenen Schalldruckpegelniveau der einzelnen Helme sind.

So hatte der bei 120 km/h „leiseste“ Helm eine Schalldruckpegeldifferenz von 4,3 dB(A), und der „lauteste“ eine Schalldruckpegeldifferenz von 3,7 dB(A).

### 6.3.4 Zusammenfassung Aeroakustikmessungen

Abbildung 6-16 und Abbildung 6-17 zeigen eine Gesamtzusammenfassung der Aeroakustikmessungen im Windkanal sowie bei den systematischen Fahrversuchen für die Versuchsgeschwindigkeiten 120 und 160 km/h. Dargestellt sind die Ergebnisse der systematischen Fahrversuche mit Vpn, sowie die der Windkanalmessungen an der Akustikmesspuppe und Vpn. Weiterhin wird der Gesamtmittelwert der Versuchsergebnisse bei 120 und 160 km/h gezeigt.

Die nachfolgend diskutierten Werte sind Mittelwerte (Mittelw\_120km/h\_Ges) sowie (Mittelw\_160km/h\_Ges).

Bei einer Versuchsgeschwindigkeit von 120 km/h liegen die Schalldruckpegel (Mittelw\_120km/h\_Ges) der Projekthelme zwischen 86,8 und 105,4 dB(A) (Spannweite 18,6 dB(A)) siehe Abbildung 6-16. Zum Vergleich 85 dB(A) entsprechen dem Lärm einer Motorkettensäge in 10 m Entfernung, 103 dB(A) dem einer Motorkettensäge aus 1 m Entfernung bzw. dem Maximalpegel bei handelsüblichen Kopfhörern.

Die „lautesten“ Helme in den Versuchen bei 120 km/h sind der Crosshelm mit 104,6 sowie der Jethelm mit 105,4 dB(A), dies war jedoch aufgrund ihrer aerodynamisch ungünstigen Bauform auch zu erwarten, wenn auch die absolute Höhe der Schalldruckpegel überraschte.

Weiterhin konnten am „lautesten“ Klapphelm Werte von 101,1 dB(A) und am „lautesten“ Integralhelm Werte von 99,1 dB(A) gemessen werden; auch diese Werte liegen auf sehr hohem Niveau.

Selbst der Helm mit dem niedrigsten gemessenen Schalldruckpegel 86,8 dB(A) liegt trotz des im Vergleich mit den anderen untersuchten Helmen sehr niedrigen Wertes schon in einem Bereich, in dem bei sehr langen Expositionszeiten Gehörschäden nicht ausgeschlossen werden können.

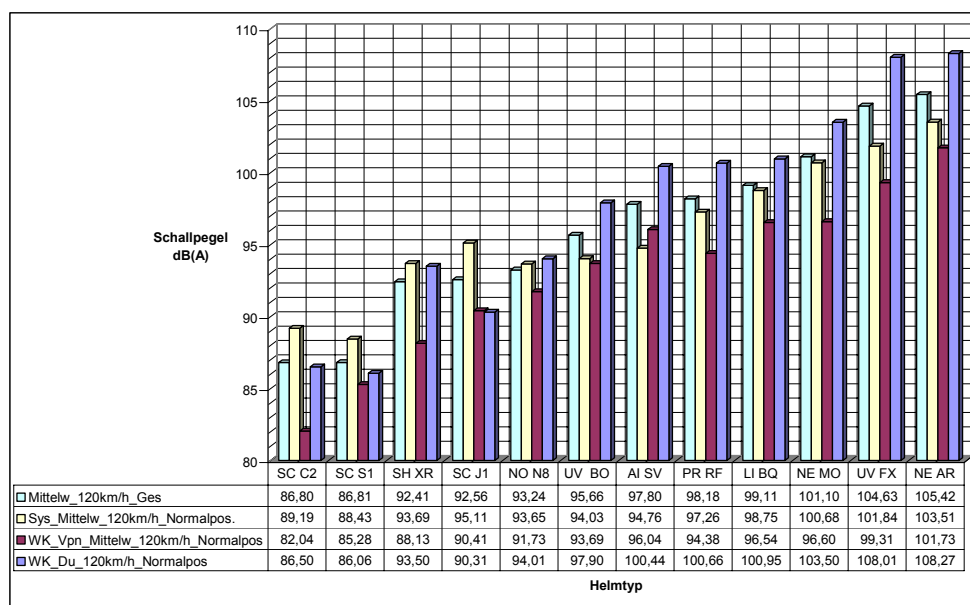


Abbildung 6-16: Schalldruckpegel bei 120 km/h – Zusammenfassung

Bei einer Versuchsgeschwindigkeit von 160 km/h wurden unter den Projekthelmen Schalldruckpegel zwischen 91,4 dB(A) bzw. 110,7 dB(A) gemessen (Spannweite 19,3 dB(A)). Diese Werte entsprechen dem Lärm eines Handschleifgerätes in 1 m Entfernung (90 dB(A)), bzw. eines Martinshorns aus 10 m Entfernung (110 dB(A)).

Auch bei der Versuchsgeschwindigkeit von 160 km/h wurden die maximalen Werte bei den beiden offenen Helmen gemessen. Der Schalldruckpegel des Crosshelses lag bei 109,9 dB(A), der des Jethelmes bei 110,7 dB(A).

Der „lauteste“ Helm aus der Gruppe der Klapp- und Integralhelme ist wie schon bei der Versuchsgeschwindigkeit 120 km/h der NE MO mit einem gemessenen Schalldruckpegel von 106,1 dB(A).

Wie schon bei 120 km/h wurden auch bei 160 km/h am Klapphelm SC C2 der geringste Schalldruckpegel gemessen, dieser liegt bei 91,4 dB(A).

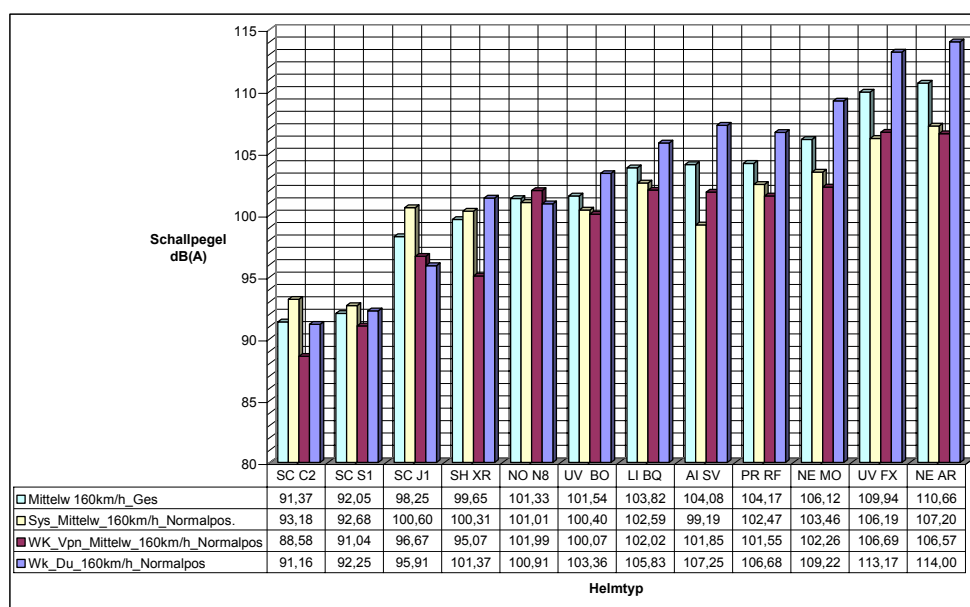


Abbildung 6-17: Schalldruckpegel bei 160 km/h – Zusammenfassung

Sowohl bei 120 als auch bei 160 km/h liegen die mit der Messpuppe gemessenen Werte bei vielen Helmen über den Werten der Versuchspersonen. Wie schon im vorangegangenen Kapitel erwähnt ist dies vermutlich darauf zurückzuführen, dass einige Helme bzgl. der Messpuppe keine hinreichende Passgenauigkeit aufweisen.

Die Messwerte der Versuchspersonen lagen unabhängig von den Versuchsgeschwindigkeiten bei den systematischen Fahrversuchen bei fast allen Projekthelmen geringfügig über den im Windkanal ermittelten Werten.

In den systematischen Fahrversuchen konnte zwischen 120 und 160 km/h bei den Versuchspersonen eine durchschnittliche Schalldruckpegelsteigerung von 4,9 dB(A) festgestellt werden. Siehe nachstehende Abbildung 6-18 (sortiert nach Vpn Mittelw.).

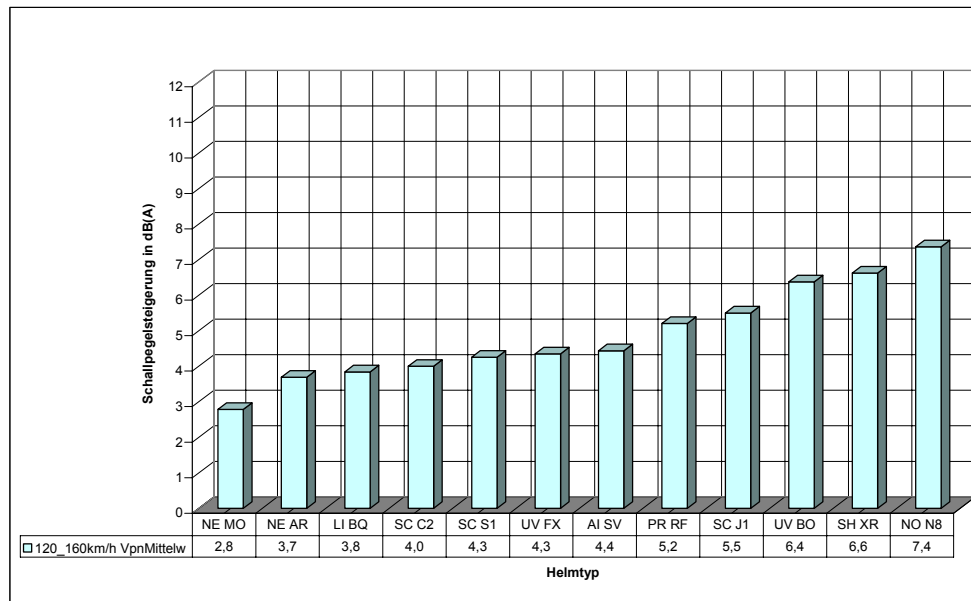


Abbildung 6-18: Schalldruckpegelsteigerungen (120 auf 160 km/h) – Fahrversuche

Bei den Windkanalversuchen brachte die Geschwindigkeitszunahme von 80 auf 120 km/h bei den Versuchspersonen eine durchschnittliche Schalldruckpegelsteigerung von 8,7 dB(A), bei der Akustikmesspuppe lag diese bei 9,3 dB(A).

Auf einem geringeren Niveau lagen die gemessenen Schalldruckpegelsteigerungen zwischen den Versuchsgeschwindigkeiten von 120 und 160 km/h, siehe Abbildung 6-19. Bei den Vpn lag hier die durchschnittliche Schalldruckpegelsteigerung bei 6,5 dB(A), bei der Akustikmesspuppe bei 5,9 dB(A).

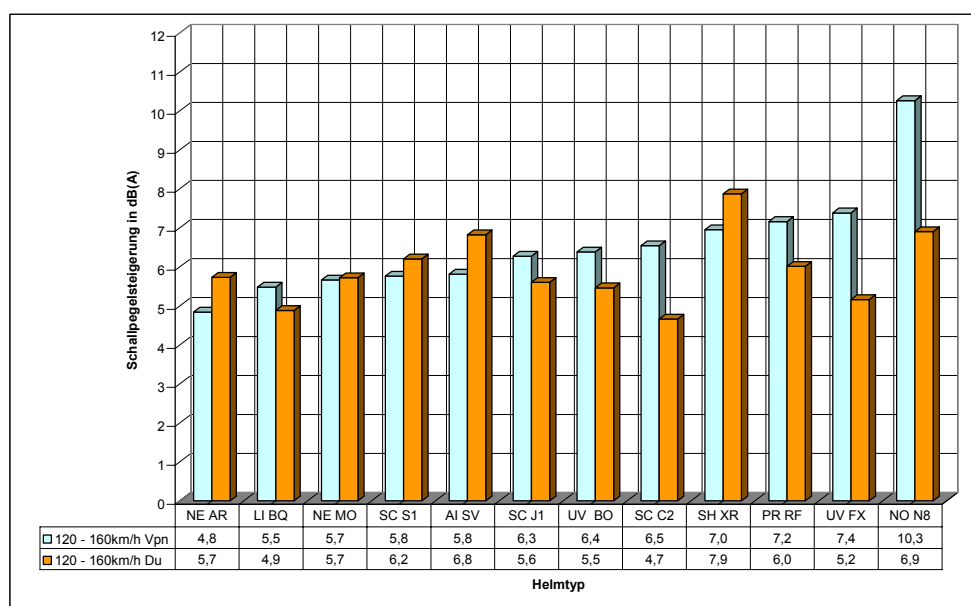


Abbildung 6-19: Schalldruckpegelsteigerungen (120 auf 160 km/h) – Windkanal

## 6.4 Darstellung der aerodynamischen Messdaten

Zur Beschreibung der aerodynamischen Eigenschaften werden in diesem Unterkapitel insbesondere die Ergebnisse der Messungen mit dem Kraftmessroboter sowie die Messungen mit dem Kraftmesshelm dargestellt. Während mit dem Kraftmessroboter für jeden Helm bei den drei vorgegebenen Geschwindigkeiten die Kräfte in x-, y- und z-Richtung ermittelt wurden, dient die Messung mit dem Kraftmesshelm eher zum späteren Vergleich mit den EMG-Messungen.

### 6.4.1 Kraftmessroboter

Wie in Kapitel 5.1.2.3 dargestellt, wurde im Windkanal zur Ermittlung der Kräfte jedes Helmes in x-, y- und z-Richtung bei den vorgegebenen Geschwindigkeiten (80, 120 und 160 km/h) ein Messroboter eingesetzt.

Der Messroboter ist so programmiert, dass insgesamt 10 Kopfpositionen eingenommen werden konnten, wobei beim Durchfahren des Programms die Grundposition dreimal vorkommt, um eine Aussage zur Reproduzierbarkeit der Messung zu erhalten.

Im Diagramm sind aufgeführt:

Gesamtkraft (schwarz)	Vektorielle Addition der Kräfte in x-, y- und z-Richtung
Widerstand (blau)	Kräfte in X-Richtung
Querkraftdifferenz (grün)	Kräfte in Y-Richtung
Auftrieb (rot)	Kräfte in Z-Richtung

Die Querkraftdifferenz (in Diagrammen gelegentlich auch als „Spiegeldifferenz“ bezeichnet) ist hierbei ein Maß für die Schütteltendenz des Helmes.

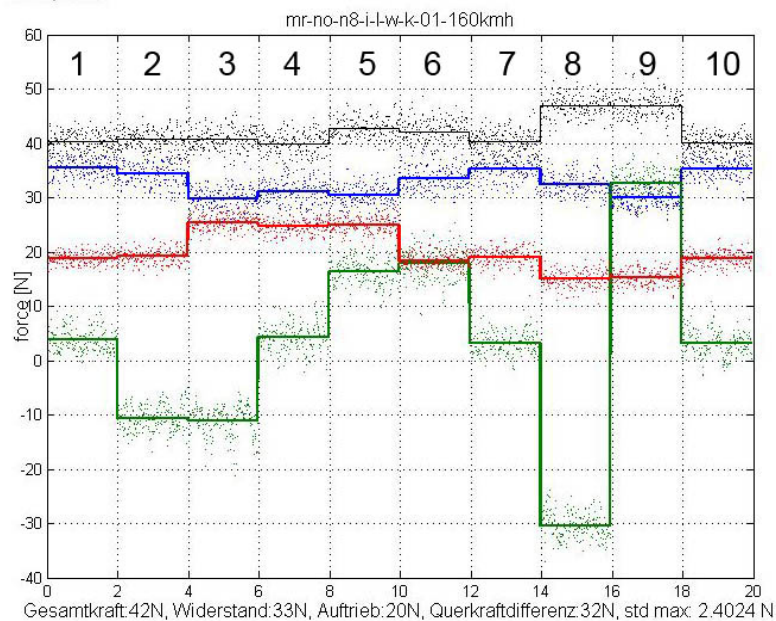
Diese berechnet sich aus der Differenz des Mittelwerts der Seitenkraft in Position 8 (Spiegelblick links) und des Mittelwerts der Seitenkraft in Position 9 (Spiegelblick rechts).

Der Messroboter fährt jede der 10 Positionen jeweils für zwei Sekunden an.

Position 1:	Grundposition
Position 2:	Blick links
Position 3:	Blick links gehoben
Position 4:	Grundposition gehoben
Position 5:	Blick rechts gehoben
Position 6:	Blick rechts
Position 7:	Grundposition
Position 8:	Spiegelblick links
Position 9:	Spiegelblick rechts
Position 10:	Grundposition

Das nachfolgende Diagramm (Abbildung 6-20) zeigt beispielhaft den Helm NO N8 bei einer Geschwindigkeit von 160 km/h und die einzelnen Abschnitte mit den angefahrenen Kopfpositionen. Auf der Ordinate werden die Kräfte in N angegeben, auf der Abszisse die Zeit in Sekunden.



Abbildung 6-20: Messwerte Kraftmessroboter, 10 Positionen, NO N8,  $v=160\text{km/h}$ 

Grundsätzlich ist der Verlauf im Vergleich zu den anderen Helmen ähnlich, wobei aerodynamisch ungünstig konstruierte Helme höhere Kräfte erfordern.

Die Widerstandskraft ist die blau eingezeichnete Linie und bewegt sich bei dem Helm in der Größe von ca. 33 N. Die Widerstandskraft nimmt leicht ab, bei einer gehobenen Position, was i. d. R. eine Anhebung der Auftriebskraft zur Folge hat (z. B. Position 3, 4 und 5).

Die Auftriebskraft ist rot eingezeichnet und schwankt in Abhängigkeit von der Kopfposition um einen Wert von ca. 20 N. Generell ist eher keine oder sogar eine negative Auftriebskraft anzustreben, um ermüdungsfreies Fahren zu ermöglichen. Auftriebskräfte werden im besten Fall von der Komfortpolsterung auf den Motorradaufsassen übertragen, im ungünstigsten Fall, z. B. bei einem zu großen Helm, von dem Kinnriemen.

Die grün eingezeichnete Querkraft ist in den Positionen 8 und 9 besonders ausgeprägt, da der Messroboter in diesen Fällen die Kopfposition für einen Spiegelblick (zuerst links, dann rechts) einnimmt, wofür eine relativ ausgeprägte Kopfdrehung erforderlich ist. Diese beiden Positionen werden auch zur Berechnung der Querkraftdifferenz genutzt.

Eine vektorielle Addition der einzelnen Kräfte ergibt einen Wert, der als Gesamtkraft bezeichnet ist (schwarz).

In Abbildung 6-21 sind drei Diagramme dargestellt, die den Kräfteanstieg bei den drei Geschwindigkeiten veranschaulichen. Ein erheblicher Kräfteanstieg aufgrund von aerodynamischen Einflüssen ist erst ab einer Geschwindigkeit von mehr als 120 km/h zu erwarten (siehe dazu auch Kapitel 7.2).

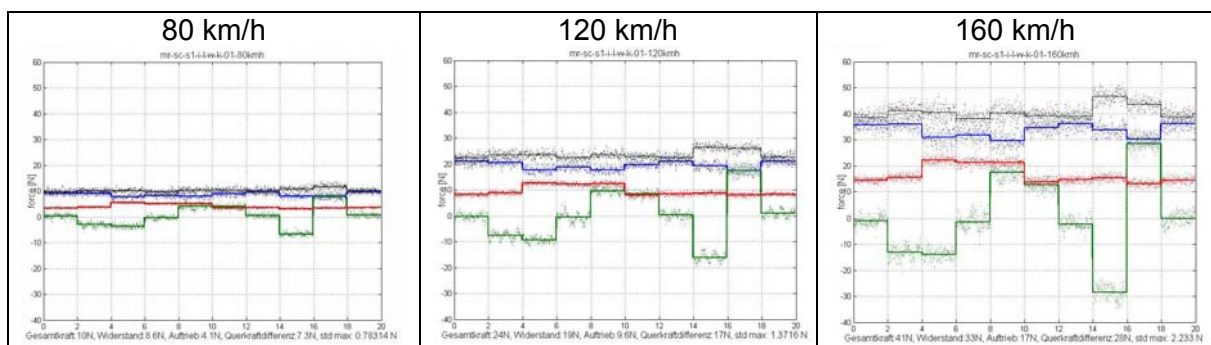


Abbildung 6-21: Vergleichende Gegenüberstellung bei 80, 120 und 160 km/h, SC S1

Die nachfolgenden Diagramme beschreiben die Werte, die mit dem Kraftmessroboter erfasst wurden. Die Kraftmesswerte sind als Säulen dargestellt und in den oben benutzten Farben wiedergegeben.

In Abbildung 6-22 sind die ermittelten Werte für die Widerstandskraft dargestellt. Die Widerstandskraft liegt zwischen min. 29 N und max. 40 N. Die Anordnung der Projekthelme ergab sich aus dem Sortierkriterium Widerstandskraft.

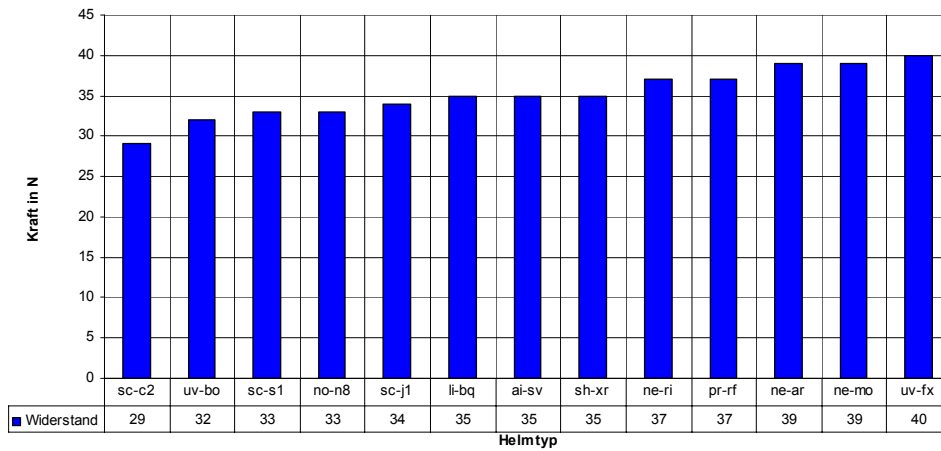


Abbildung 6-22: Kraftmessroboter bei 160 km/h; Widerstandskraft

Eine vergleichende Darstellung der Auftriebskräfte zeigt Abbildung 6-23. Die Rangfolge ist aufsteigend angeordnet mit Kräften zwischen min. 13 N und max. 28 N.

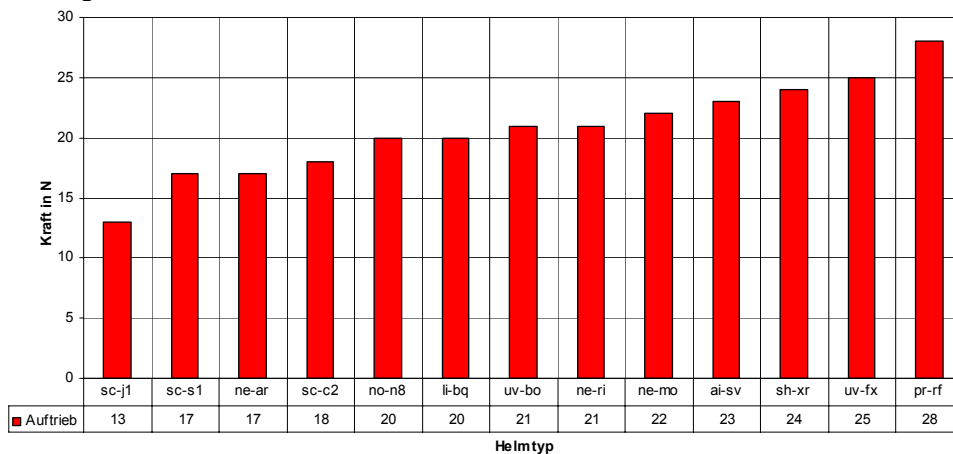


Abbildung 6-23: Kraftmessroboter bei 160 km/h; Auftriebskraft

In Abbildung 6-24 sind die Helme nach steigender Querkraftdifferenz angeordnet; min. 25 N und max. 37 N.

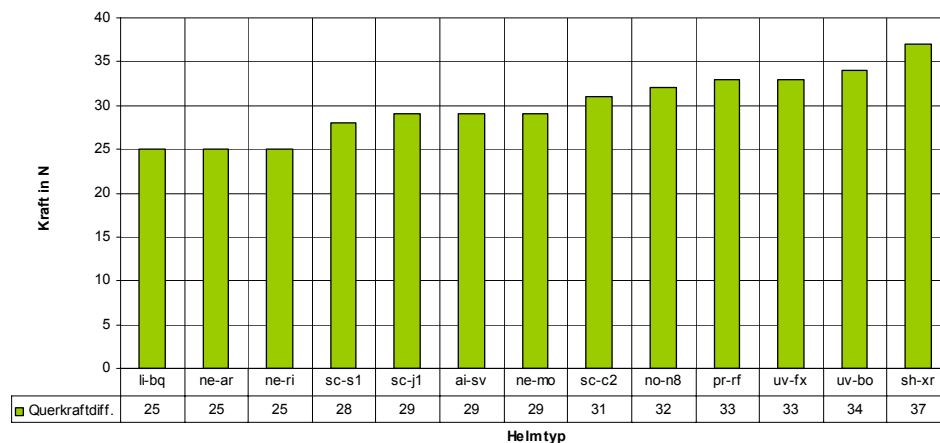


Abbildung 6-24: Kraftmessroboter bei 160 km/h; Querkraftdifferenz

Eine zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse (einschließlich der Gesamtkraft), die mit dem Kraftmessroboter ermittelt wurden, ist in der Diskussion wiedergegeben.

### 6.4.2 Kraftmesshelm

Mit dem Kraftmesshelm von Schubert, der in dem Fall aus einer Außenschale des Schubert QM Helms bestand, wurden ebenfalls Messungen mit den drei Vpn durchgeführt (siehe auch Kapitel 4.5.2 und 5.1.2.4). Der Kraftmesshelm ist in der Lage, Kräfte in den drei Richtungen (x-, y- und z-Richtung) zu erfassen. Mit Hilfe einer Kraftmessdose wird die Verschiebung zwischen Helmaußenschale und Helminnenschale aufgezeichnet.

Diese Versuchsreihe soll Aufschluss darüber geben, wie groß die ermittelten Kräfte im Vergleich mit den EMG-Messwerten sind. Dadurch konnte ein Bindeglied zwischen den Kräften, die vom Kraftmessroboter ermittelt wurden und den EMG-Messwerten hergestellt werden.

Der Versuch wurde bei 160 km/h durchgeführt, wobei die Vpn jeweils analog zu der Versuchsreihe im Windkanal die fünf Kopfpositionen eingenommen haben (geradeaus, Blick nach unten, Blick nach links, Blick nach rechts, geradeaus). Gleichzeitig wurden EMG-Messungen am Musculus sternocleidomastoideus rechts und links vorgenommen.

Nachfolgend werden die für die Versuchsperson JR ermittelten Kräfte in einem Diagramm dargestellt (Abbildung 6-25). Analog zu den Messwerten vom Kraftmessroboter wurde die Gesamtkraft schwarz, Widerstandskraft blau, Seitenkraft grün und Auftriebtriebskraft rot eingefärbt. Die unterschiedlichen Kopfpositionen wurden jeweils 30 Sekunden lang gemessen, so dass sich bei fünf Positionen eine Zeitdauer von insgesamt 150 Sekunden ergibt.

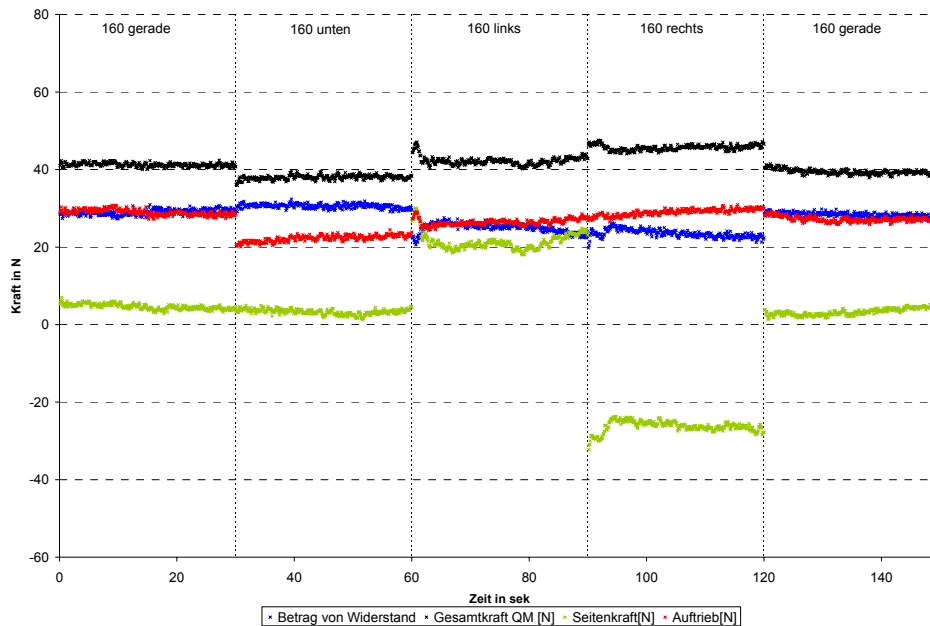


Abbildung 6-25: Kräfte des Kraftmesshelmes bei 160 km/h, Vp JR

Bis auf die Auftriebskraft stimmen die Messwerte des Kraftmesshelmes in guter Näherung mit den Messwerten des Kraftmessroboters überein, zeigen jedoch bei der Wiederholungsmessung der Kopfposition ‚gerade‘ (am Anfang und am Ende) eine gewisse Streuung. Eine Streuung weisen auch die Messwerte bei der Kopfdrehung zwischen Position ‚rechts‘ und Position ‚links‘ auf.

Der Kraftmesshelm war wegen seiner Auslegung in Größe L für die Vpn KS und II etwas zu groß, wodurch es zu noch höheren Auftriebskräften kam. Die Auftriebskräfte werden dann nicht mehr wie üblicherweise durch die Komfort- oder Wangenpolsterung übertragen, sondern durch den Kinnriemen. Ein nachträgliches Aufpolstern der Komfortpolsterung konnte diesen Nachteil nicht vollständig beheben.

### 6.4.3 Zusammenfassung Aerodynamikmessungen

#### Messungen mittels Kraftmessroboter

Vorteilhaft bei Messungen mit dem Kraftmessroboter ist die Reproduzierbarkeit der Kopfpositionen. Die am Kraftmessroboter gemessenen Gesamtkräfte lagen in einem Bereich von 38 N bis 52 N. Für die einzelnen Komponenten ergaben sich:

- Widerstandskräfte (x-Richtung) zwischen 29 N und 40 N;
- Auftriebskräfte (z-Richtung) zwischen 13 und 28 N und für die
- Querkkräfte, bzw. Querkraftdifferenz (Wertebereich zwischen positiver und negativer y-Richtung) zwischen 25 N und 37 N.

#### Messungen mittels Kraftmesshelm

Die Messungen mittels des Kraftmesshelmes ergaben bei den Widerstandskräften Messwerte, die vergleichbar sind mit den Messwerten des Kraftmessroboters.

Gewisse Ergebnistoleranzen ergaben sich aus einem nicht hinreichend reproduzierbaren Ablauf der Kopfpositionierung der unterschiedlichen Versuchspersonen. Ferner führte der in Größe L ausgeführte Kraftmesshelm, der bei zwei Vpn nur relativ lose passte, zu höheren Auftriebskräften.

## 6.5 Darstellung der psychophysiologischen Messdaten

In den nachfolgenden Unterkapiteln werden die Ergebnisse zu den psychophysiologischen Messdaten in den Bereichen Pulsfrequenz, Sinusarrhythmie, Muskelaktivität (EMG) und elektrodermale Aktivität dargestellt.

In einem ersten Schritt wurden die psychophysischen Leistungs- und Befindlichkeitsparameter auf ihre Plausibilität hin überprüft. Hier waren Messtoleranzen zu erwarten, da einerseits besondere Anforderungen an die Messtechnik bestehen, wenn EKG-Kurven auf dem Motorrad bei hohen Geschwindigkeiten aufgezeichnet werden sollen, andererseits Messungen wie z. B. die Untersuchung der elektrodermalen Aktivität konstante Randbedingungen benötigen, die während Versuchsfahrten im Straßenverkehr nicht immer eingehalten werden können. Daher wird die Auswertung zum einen durch Vergleich der grafischen Messwertdarstellungen durchgeführt, zum anderen bezieht sich die rechnerische Auswertung auf verschiedene Abschnitte des Versuches, um auf diese Weise relative Unterschiede zu erarbeiten.

### 6.5.1 Pulsfrequenz

#### Prinzipdarstellung zur Ermittlung der Pulsfrequenz

Die Berechnung der Pulsfrequenz erfolgte auf Grundlage der EKG-Messungen. Exemplarisch wird in Abbildung 6-26 gezeigt, wie sich der Verlauf der Pulsfrequenz und der Sinusarrhythmie während der gesamten Versuchsdauer mit der Vp KS und dem Helm NO N8 darstellt. Auf der Abszisse ist wie auch in den anderen Diagrammen die Zeit in Sekunden aufgetragen. Auf der Ordinate ist die Pulsfrequenz (in Anzahl pro min) und die Sinusarrhythmie aufgetragen. Die einzelnen Versuchsphasen (Geschwindigkeiten) werden durch die Längsbalken am oberen Rand markiert, wobei die Vertikalstriche jeweils den Beginn einer neuen Kopfposition markieren.

Die hellblaue Linie stellt die Pulsfrequenz nach dem ersten Filter, in dem nur die definitiv falschen Messwerte rausgefiltert wurden, dar. Die rote Linie zeigt die Pulsfrequenz, die aus dem gestutzten Mittel der 20 vorangegangenen und nachfolgenden Werte berechnet wurde. Die violette Linie veranschaulicht die Sinusarrhythmie, die sich aus der Varianz der letzten 60 aufeinander folgenden R-Zacken berechnet (siehe Kap. 4.3.3.1).

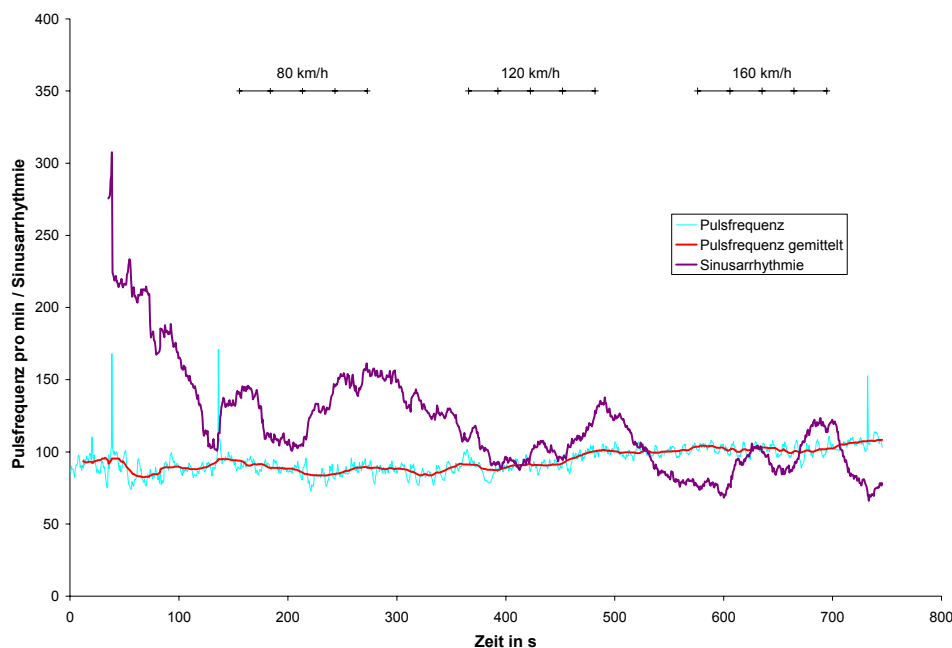


Abbildung 6-26: Pulsfrequenz und Sinusarrhythmie bei Vp KS; NO N8

Für die Berechnung der Pulsfrequenz wurden die in Kapitel 4.3.3.1 erläuterten Filter verwendet, wodurch relativ zuverlässig die fehlenden RR-Zacken ausgeglichen werden konnten.

Gerade bei hohen Geschwindigkeiten können z. B. durch pulsierende Windkräfte am Fahrer Störungen bei der kontinuierlichen Messwerterfassung auftreten.

In der Abbildung 6-26 ist ein Anstieg der Pulsfrequenz bei steigender Windgeschwindigkeit zu erkennen, was auf eine erhöhte physische Belastung durch höhere Haltekräfte zurückgeführt werden kann. Die Sinusarrhythmiekurve flacht bei steigender Geschwindigkeit ab, d. h. die Herzschläge werden rhythmischer, wodurch auf eine erhöhte mentale Belastung geschlossen werden könnte. Auch dies würde dem Erwartungshorizont entsprechen.

In Abbildung 6-27 ist nun der Median der Pulsfrequenzen einer Vp beim Versuchsablauf 80 km/h (rot) und 160 km/h blau dargestellt. Die Reihenfolge der Anordnung ergibt sich durch eine Sortierung von links nach rechts durch ansteigende Medianwerte bei 160 km/h.

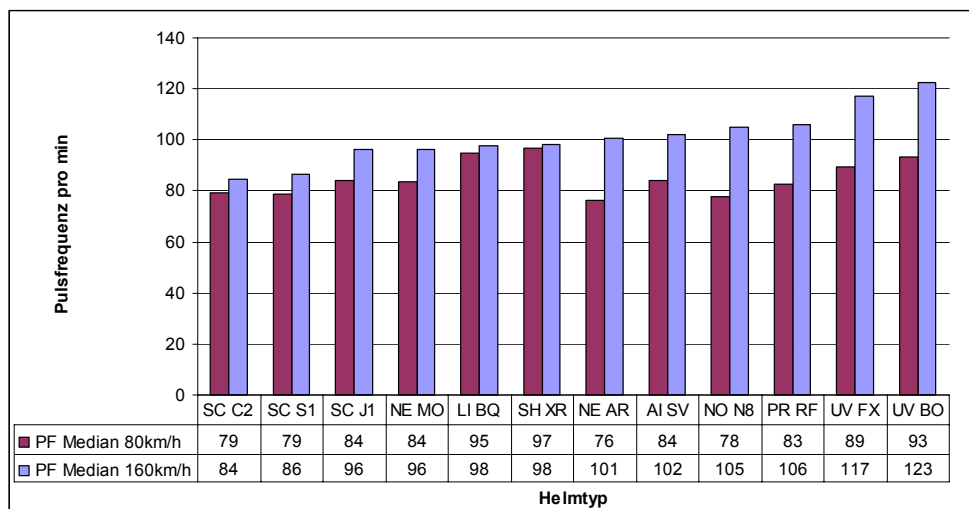


Abbildung 6-27: PF einer Vp, Windkanal; angeordnet nach PF Median 160km/h

Weiterhin wird eine Rangfolge der Helme dargestellt (Abbildung 6-28), die sich aus dem Anstieg der Pulsfrequenzen bei 80 und bei 160 km/h ergibt, das heißt der links genannte Helm provozierte den geringsten Anstieg der Pulsfrequenz von 80 auf 160 km/h und der rechts angezeigte den größten Anstieg.

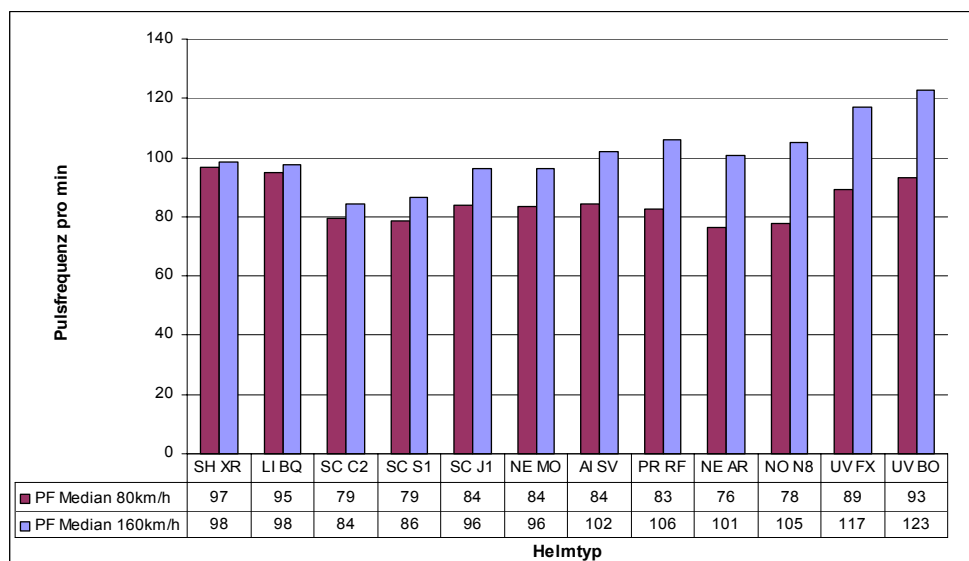


Abbildung 6-28: Anstieg der PF (80 – 160km/h) einer Vp, Windkanal

Die zwei vorstehenden Diagramme beziehen sich auf die Vp II und lassen die qualitative Aussage zu, dass sich Helme im oberen Preissegment ab der Mitte und aufwärts befinden und Helme im unteren Preissegment bzw. Helme mit hohen Widerstandskräften und hohem Schalldruckpegel ab der Mitte und darunter zu finden sind.

Eine zusammenfassende Darstellung der ermittelten Pulsfrequenzen, bei denen die Ergebnisse aller Vpn verglichen werden, wird in Kapitel 7.4 diskutiert.

Ein Zusammenhang zwischen der Reihenfolge der Einzelversuche und den Ergebnissen der Pulsfrequenz konnte durch eine chronologische Auswertung verneint werden.

### 6.5.2 Sinusarrhythmie

Die Sinusarrhythmie kann als Indikator für die mentale Belastung verwendet werden. Allerdings muss für die Berechnung der Sinusarrhythmie ein stabiles Signal der R-Zacken vorliegen. Ein Filter, der die fehlenden Werte der R-Zacken glättet, verfälscht jedoch das Berechnungsergebnis der Sinusarrhythmie. Durch die Filter werden die Abstände von einer R-Zacke zur nächsten wiederholt, was für einen exakten Rhythmus sprechen würde, der unter Umständen nicht vorlag.

Einzelauswertungen an bestimmten Vpn ergaben, dass es bei steigender Geschwindigkeit zu einer tendenziell geringeren Sinusarrhythmie kommt. Geringere Werte der Sinusarrhythmie erfolgen bei rhythmischen Intervallen und sind ein Indikator für eine ansteigende mentale Belastung. Helmspezifische Erkenntnisse konnten beim derzeitigen Stand nicht abgeleitet werden.

Unter den gegebenen Projektbedingungen und den im Text erläuterten Berechnungsschwierigkeiten, waren zuverlässige statistische Aussagen der Sinusarrhythmie in Bezug auf die Qualität der Helme und einer quantitativen Aussage an dieser Stelle nicht möglich.

### 6.5.3 EMG Messungen – Windkanal

Die Laborversuche im Windkanal eigneten sich zur Ermittlung der aerodynamischen Kräfte und auch zur Ermittlung von EMG Messwerten besser als die systematischen Fahrversuche, da die Sollgeschwindigkeiten exakt eingehalten werden konnten und Störfaktoren des Straßenverkehrs fehlten, wodurch sich die Vpn besser auf den Versuchsablauf konzentrieren konnten.

#### 6.5.3.1 Prinzipdarstellung der ermittelten EMG-Werte

Zur Erläuterung des Versuchsablaufes und der dabei gemessenen EMG-Werte wird als erstes ein Helm mit guten aerodynamischen Eigenschaften dargestellt (SC C2) und anschließend ein Helm mit erwartungsgemäß hohen Widerstandskräften (UV FX).

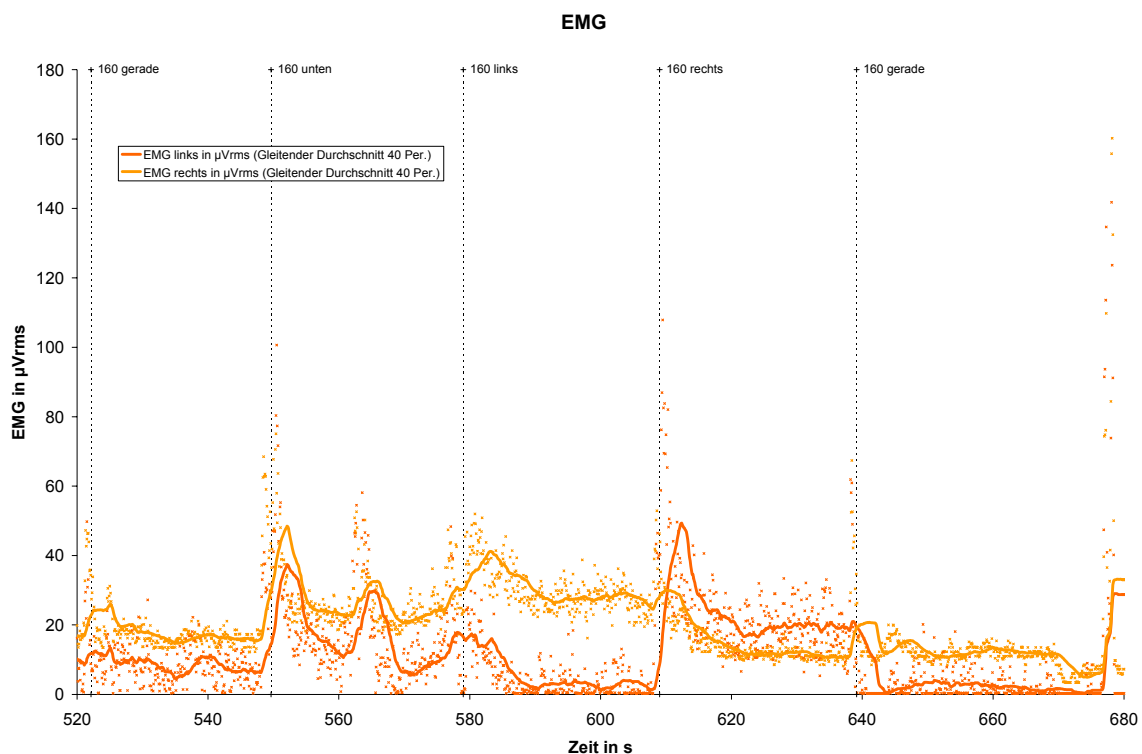


Abbildung 6-29: Windkanal Vp: II; 160 km/h; SC C2

Bereich	Mittelwert	Median	Varianz	Standardabweichung	Variationskoeffizient	Max	Min	Spannweite
Gesamt	19,7	9,6	415,4	20,4	103,5	161,1	2,7	158,4
160 km/h	42,5	44,6	247,7	15,7	37,0	107,1	7,1	100,0
1. Kopfposition gerade (160km/h)	55,0	54,7	76,9	8,8	16,0	84,0	34,7	49,30
2. Kopfposition gerade (160km/h)	52,9	52,1	58,1	7,6	14,4	76,6	29,8	46,8

Tabelle 6-2: Ermittelte EMG-Messwerte im Windkanal Vp: II; 160 km/h; SC C2

Die Abbildung 6-29 zeigt den Helm SC C2 bei einer Geschwindigkeit von 160 km/h im Windkanal mit der Vp II, die die 5 Kopfpositionen nacheinander eingenommen hat. Es sind die Messwerte vom rechten (gelb) und linken (orange) Musculus sternocleidomastoideus aufgetragen, wobei aus der Punktwolke ein gleitender Durchschnitt aus den letzten 40 Perioden gebildet wurde. Die Einheit für die EMG-Werte ist auf der Ordinate in  $\mu\text{V rms}$  angegeben und auf der Abszisse die Zeit in Sekunden. Ein Anstieg der EMG-Werte bedeutet somit eine erhöhte Muskelaktivität.



In dem Diagramm ist insbesondere der Anstieg der EMG-Werte bei den Seitenpositionen und dem Blick nach unten sowie ein kurzzeitiger Anstieg beim Wechseln in eine neue Position zu erkennen. Erwartungsgemäß muss der rechte Musculus sternocleidomastoideus bei der linken Kopfposition wesentlich mehr Arbeit leisten, als der gegenüberliegende Muskel. Dieses Verhalten spiegelt sich bei der rechten Kopfposition am linken Muskel wider.

Die gerade Kopfposition wurde zweimal, jeweils am Anfang und am Ende eingenommen, um eine Aussage über die Reproduzierbarkeit der Messungen tätigen zu können.

Das Messmodul für den linken Muskel war zum Zeitpunkt der Messungen auf einen niedrigeren Grundwert kalibriert, wodurch sich die Verschiebung erklären lässt. Die Berechnung der EMG-Werte bezieht sich in dem Bericht stets auf die rechte Seite.

Insgesamt lag bei dem Helm ein relativ niedriges Niveau der Messungen vor, das in der Tabelle 6-2 beschrieben ist.

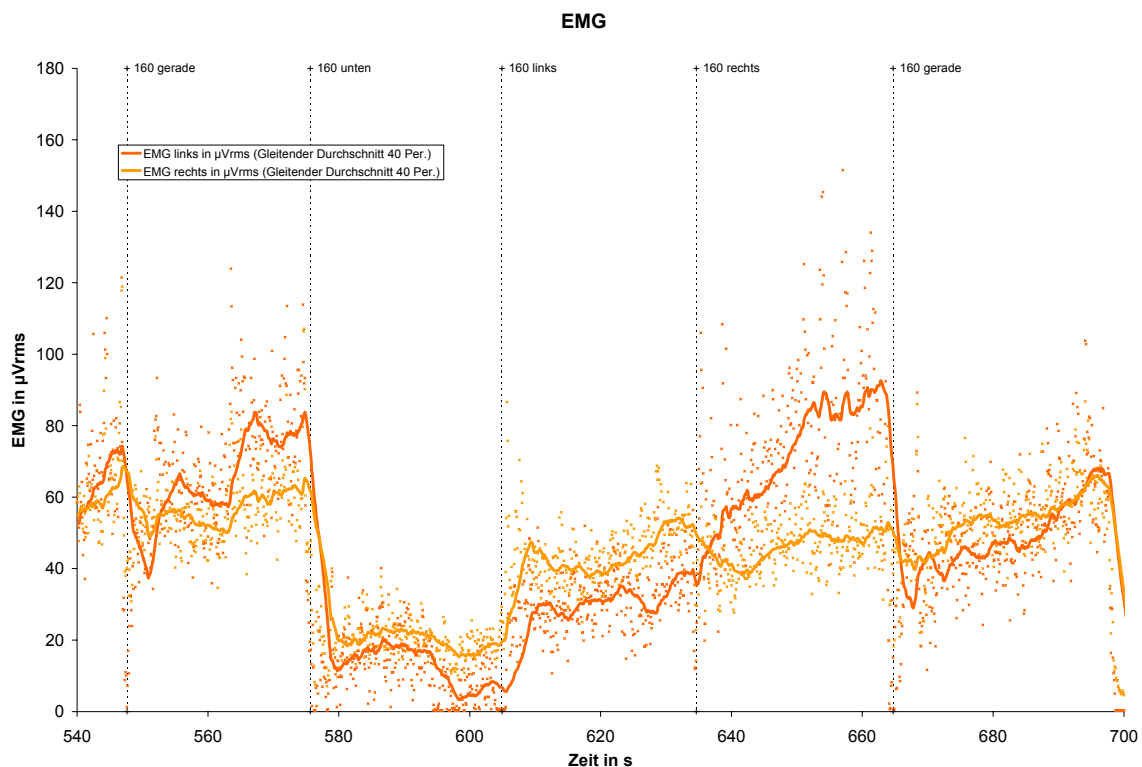


Abbildung 6-30: Windkanal Vp: II; 160 km/h; UV FX

Bereich	Mittelwert	Median	Varianz	Standardabweichung	Variationskoeffizient	Max	Min	Spannweite
Gesamt	19,7	9,6	415,4	20,4	103,5	161,1	2,7	158,4
160km/h	42,5	44,6	247,7	15,7	37,0	107,1	7,1	100,0
1. Kopfposition gerade (160km/h)	54,9	54,7	76,9	8,8	16,0	84,0	34,7	49,3
2. Kopfposition gerade (160km/h)	52,9	52,1	58,1	7,6	14,4	76,6	29,8	46,8

Tabelle 6-3: Ermittelte EMG-Messwerte im Windkanal Vp: II; 160 km/h; UV FX

Die Abbildung 6-30 zeigt die EMG-Werte des Helmes UV FX mit der Vp II bei 160 km/h analog zu dem oben beschriebenen Diagramm vom Helm SC C2. Da der UV FX ein Cross-Helm ist, ist die Beanspruchung bei einer Geschwindigkeit von 160 km/h entsprechend hoch. Ein Cross Helm wurde eher nicht für diese Geschwindigkeiten, jedoch kann während der gesamten Versuchsreihe gut gezeigt werden, welche Auswirkungen ein aerodynamisch ungünstiger Helm auf psychophysiologische Messungen hat.

### 6.5.3.2 Vergleichende Darstellung der helmbezogenen EMG-Messwerte

Zur vergleichenden Beurteilung werden die EMG-Werte jeder Versuchsperson, die bei 160 km/h ermittelt wurden, in einer Rangfolge dargestellt. Da der Versuchsablauf für den Kalibrierhelm bei 160 km/h identisch ist mit dem Versuchsablauf der anderen Helme, wird dieser ebenfalls in die Darstellung und Berechnung einbezogen. Daher sind in den EMG-Messungen 13 statt 12 Helme dargestellt.

Für die Berechnung des EMG-Wertes werden einerseits die Medianwerte zugrunde gelegt, die während der „geraden“ Kopfposition gemessen wurden. Von diesen beiden Werten wird der Mittelwert berechnet und in den nachfolgenden Diagrammen als „EMG Median Neutral 1 und 2“ gekennzeichnet. Vorteil dieser Berechnung ist, dass die Wiederholung der „geraden“ Kopfposition die Messung zuverlässiger macht. Andererseits ist der Median über alle Kopfpositionen bei 160 km/h berechnet worden und im Diagramm als „EMG Median 160 km/h“ bezeichnet.

Jede Kopfposition musste ca. 30 sek eingehalten werden. Bei der Berechnung der Werte sind jedoch die 15 mittleren Sekunden verwendet worden, um Spitzen am Anfang und Ende auszuschließen.

### Versuchsperson II

In dem nachfolgenden Diagramm sind die EMG-Werte (rechte Seite) der Vp II dargestellt, die während der Versuchsreihe im Windkanal bei 160 km/h ermittelt wurden. Die Rangfolge wurde nach den Werten „EMG Median 160 km/h“ gebildet.

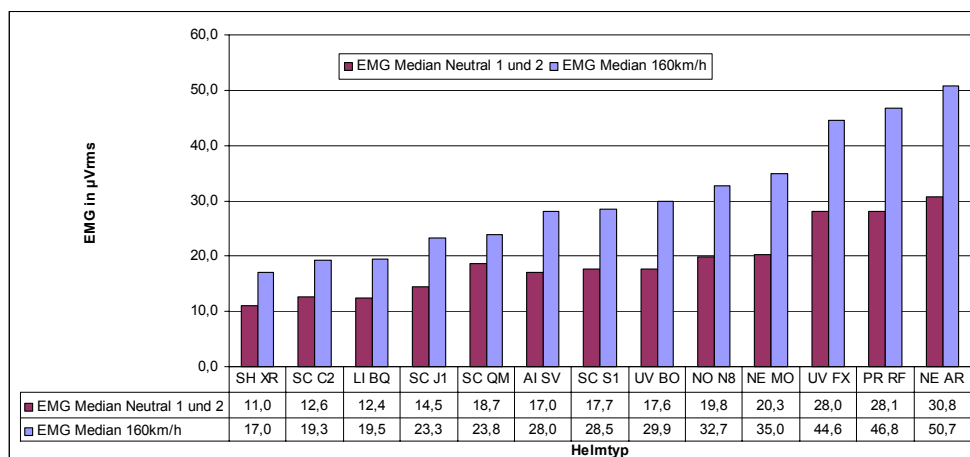


Abbildung 6-31: EMG Windkanal, VP II; angeordnet nach EMG Median 160 km/h

Die Werte, bei denen der Median über alle Kopfpositionen berechnet wurde (EMG Median 160 km/h), sind höher als die Werte, die in der geraden Kopfposition berechnet wurden, da die Kopfdrehung nach links mehr Muskelaktivität erfordert.

Erwartungsgemäß und auch analog zu den Werten des Kraftmessroboters verursachen die beiden offenen Helme (UV FX und NE AR) ein sehr viel höheres Niveau der Muskelaktivität, als die geschlossenen Helme. Auch vergrößert sich das relative Kraftniveau von allen Kopfpositionen im Vergleich zu dem Kraftniveau der geraden Kopfpositionen. Dies spräche dafür, dass eine hohe Differenz bei einem Helm zwischen den beiden Werten (EMG der geraden Position und EMG über alle Positionen) eine besondere Vergrößerung der Muskelaktivität beim Blickwechsel (Änderung der Kopfposition) ausdrückt.

Der höchste durch einen Helm verursachte Wert der Muskelaktivität verdoppelt sich im Verhältnis zu dem geringsten durch einen Helm verursachten Wert; vorliegend kommt es fast zu einer Verdreifachung (Vp II).

Nach Rösler (2001, S. 643) kovariiert das EMG-Signal mit der induzierten Kontraktionskraft.

## Versuchsperson KS

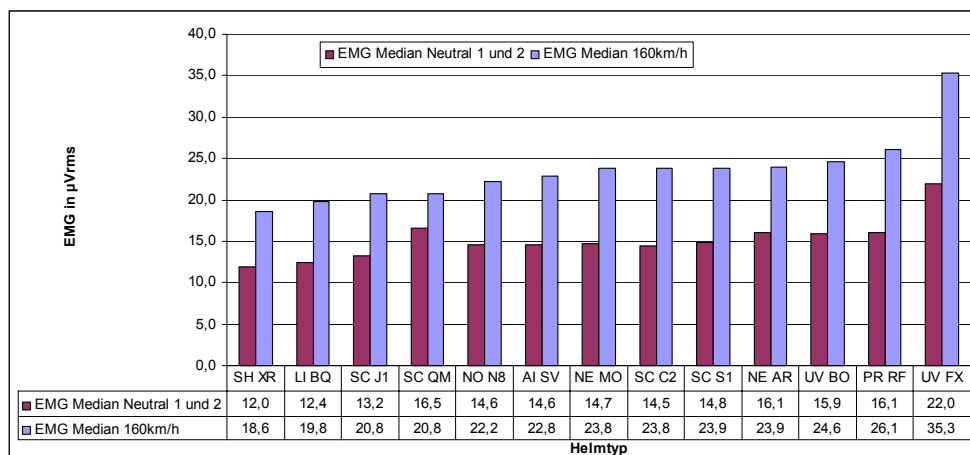


Abbildung 6-32: EMG Windkanal, VP KS; angeordnet nach EMG Median 160km/h

Abbildung 6-32 zeigt die „persönliche“ Rangfolge der Vp KS. Insgesamt liegt bei dieser Vp ein geringeres EMG Niveau vor als bei der Vp II, das sich insbesondere beim Vergleich mit aerodynamisch ungünstigen Helmen zeigt (vgl. UV FX, NE AR). Weiterhin ist zu erkennen, dass sehr gute und in diesem Kriterium eher schlechte Helme von beiden Vpn ähnlich eingestuft werden. Es zeigt sich aber auch, dass die Messungen, vermutlich aufgrund der Kopfp positionen, deren Stellung nicht immer exakt wiederholt werden konnte, nicht sensibel genug sind, um die Helme im Mittelfeld zuverlässig zu bewerten.

## Versuchsperson JR

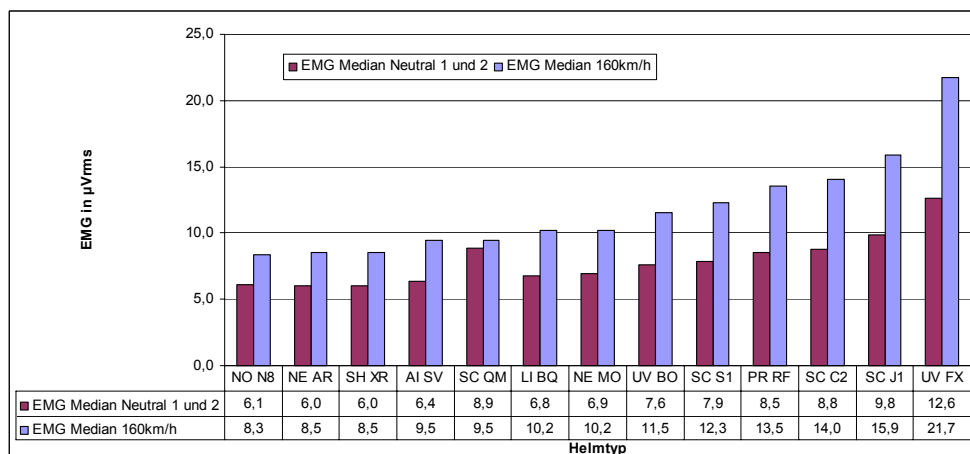


Abbildung 6-33: EMG Windkanal, VP JR; angeordnet nach EMG Median 160km/h

Abbildung 6-33 gibt die Rangfolge der VP JR wieder. Wie schon bei Vorversuchen erkennbar war, ist die Muskelaktivität der Vp JR sehr viel geringer als bei den anderen Vpn. Mögliche Gründe dafür sind die relativ große Körpermasse und Körperhöhe, aber auch der Trainingszustand. Unter anderem spielen auch schwierig zu beherrschende Faktoren wie die Positionen und der Grundwiderstand an den Kontaktstellen der Klebeelektroden eine Rolle.

#### 6.5.4 EMG Messungen – Systematische Fahrversuche Teil 3

In einer weiteren Versuchsreihe wurden Messungen mit ausgewählten Helmtypen durchgeführt, um einerseits die Messmethode zu vertiefen und andererseits einen höheren Geschwindigkeitsbereich (180 km/h) sowie den Einfluss eines teilverkleideten Motorrades gleichen Typs (im Bericht noch nicht ausgeführt) mit einzubeziehen.

Auch hier wurden vor- und nach den Fahrversuchen statische Messungen mit einer geeigneten Messeinrichtung durchgeführt. Dabei wurde der Kopf der aufrecht sitzenden Versuchsperson schrittweise von 1 – 5 kg an der Stirn frontal, anterior – posterior (komplanar zur Frankfurter Ebene) in einer Art belastet, die qualitativ die entsprechende Windkräfte auf dem Motorrad simulieren. Die Gewichtskraft wirkte horizontal in den Steigerungsstufen (1 kg) jeweils ca. 25 Sekunden (siehe auch Abbildung 6-34).



Abbildung 6-34: Statische EMG Versuche

Anhand dieser statischen Messungen können die gemessenen Werte bei den Fahrversuchen auch mit den ermittelten Kräften vom Kraftmessroboter verglichen werden. Es wurde darauf geachtet, dass die Position und die Qualität der Ableitung der einzelnen Elektroden bei den statischen Messungen und den Fahrversuchen unverändert blieben.

In Abbildung 6-35 sind die Ergebnisse der statischen Messungen bei der Versuchsperson KS dargestellt. Die ersten Werte mit 0 kg sind das gemessene Potential am unbelasteten Muskel im Ruhezustand. Im nächsten Schritt wird eine Gewichtskraft von 1 kg aufgebracht, was einen relativ geringen Ausschlag bewirkt. Im weiteren Verlauf der sukzessiven Erhöhung der Gewichtskraft steigen die Werte bis auf 110  $\mu\text{Vrms}$ . Die linke Seite zeigt hier durchweg höhere Werte an, wofür bis jetzt jedoch keine schlüssige Erklärung gefunden werden konnte. Zum Vergleich sind in Abbildung 6-36 die Werte der Vp KS dargestellt, die bei den systematischen Fahrversuchen Teil 3 erfasst wurden. Die Mittelwerte der rechten und linken Seite liegen in einem Bereich von 5 – 76  $\mu\text{Vrms}$ , abhängig von Versuchsgeschwindigkeit und Helmtyp. Der Helm PR RF erfordert in jedem Geschwindigkeitsbereich mehr Muskelaktivität, als der Helm SH XR. Mittelwerte wurden aus den Werten gebildet, die sich aus den drei Versuchsfahrten ergaben.

Bei 160 km/h liegen die Werte beim PR RF bei ca. 40  $\mu\text{Vrms}$ , was verglichen mit den statischen Versuchen einer Belastung von ca. 3 – 4 kg entspräche. Dies stimmt auch in etwa mit den Widerstandskräften überein, die mit dem Kraftmessroboter ermittelt wurden (PR RF, 160km/h, Widerstandskraft = 37N; Kap. 6.4.1).

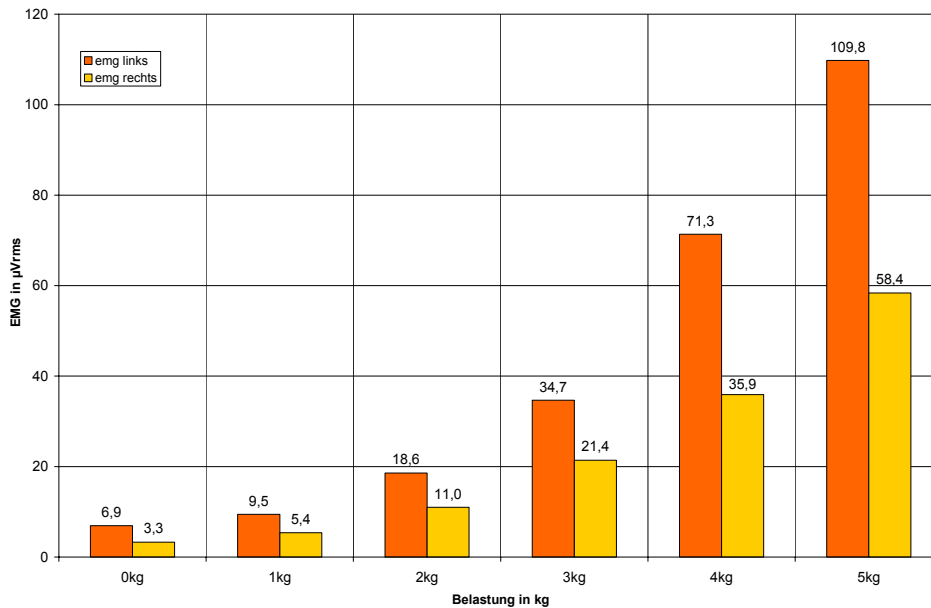


Abbildung 6-35: Typische statische EMG Messungen an Vpn

Größenordnungsmäßig ist hier eine Zuordnung möglich, jedoch muss beachtet werden, dass aufgrund verschiedener Variablen (w. z. B. Potentiale, die aufgrund anderer Muskelbewegungen einstreuen, Elektrodenpositionierung, Grundpotential der Vp) relativ hohe Streuungen bei den EMG Messungen vorliegen. Eine Identifizierung der hier gefahrenen Geschwindigkeitsbereiche ist zuverlässig möglich, jedoch sind die Unterschiede zwischen verschiedenen Integralhelmen relativ klein im Gegensatz zu den Streuungen, die bei den Messungen auftreten können.

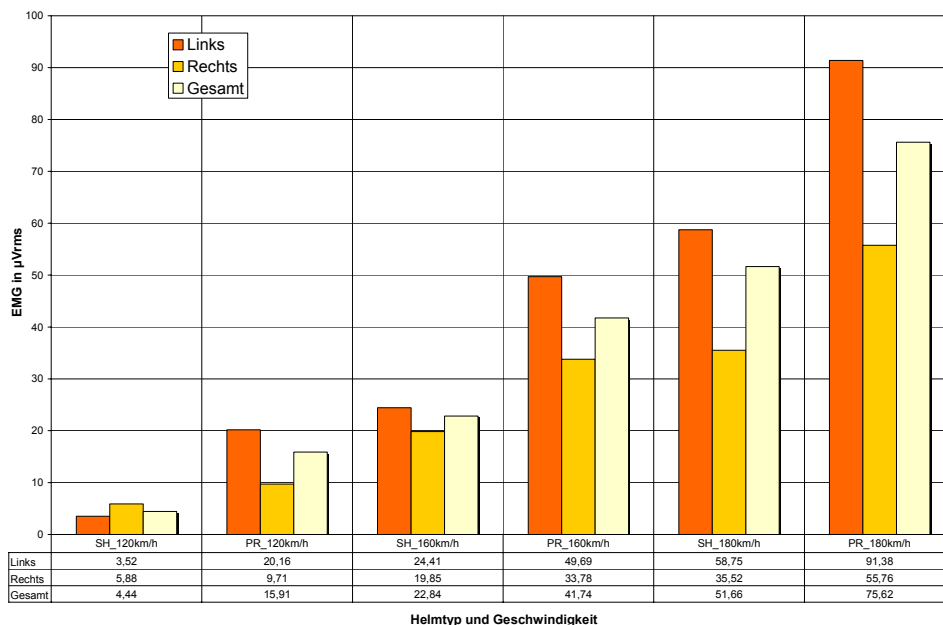


Abbildung 6-36: Fahrversuche mit Vp KS; Helm SH XR und PR RF

Statische Messungen bei weiteren Vpn ergaben, dass oftmals nicht der gesamte Wertebereich ausgenutzt wurde; z. B. lag der Maximalwert bei 20 µV rms, wobei die Skala bis 170 µV rms reicht.

Es zeigte sich wie auch schon bei den Versuchen, dass bei den Vpn verschiedene Grundpotentiale anliegen. Messungen in Abständen von mehreren Tagen ergaben, dass die Absolutwerte bei einer Vp stets in einem ähnlichen Bereich liegen. Es stellte sich auch heraus, dass die Kopfposition (gerade, leicht gesenkt) hohen Einfluss auf die Werte haben kann.

### 6.5.5 Elektrodermale Aktivität

Im Zusammenhang mit den bei der Projektdurchführung gebotenen Möglichkeiten der Elektrodenanbringung konnten letztlich verwertbare Ergebnisse derzeit noch nicht gewonnen werden.

### 6.5.6 Zusammenfassung der psychophysiologischen Messungen

Sowohl während der Windkanalversuche und der systematischen Fahrversuche wurden psychophysiologische Messungen an den Versuchspersonen vorgenommen, um verschiedene Leistungs- und Befindlichkeitsparameter zu erfassen. Dazu diente eine achtkanalige, mobile Messkette, die im Wesentlichen aus einer Zentraleinheit und den einzelnen Messkettenmodulen zur Erfassung der nachfolgend aufgeführten psychophysiologischen Parameter bestand.

Das Elektrokardiogramm (EKG) wurde mithilfe dreier Elektroden nach Nehb abgeleitet, wobei aus dem Intervall der R-Zacken die Pulsfrequenz und die Sinusarrhythmie bestimmbar wurden.

Ein Elektromyogramm (EMG), das ebenfalls mit drei Elektroden am rechten und / oder linken Musculus sternocleidomastoideus abgeleitet wurde, sollte Aufschluss über die Aktivität dieses Muskels geben, der im Wesentlichen für die Haltearbeit des Kopfes zuständig ist.

Die elektrodermale Aktivität (EDA) misst die Hautleitfähigkeit mittels zweier Elektroden, die unter der Zielsetzung, eine Aussage zur situativen Befindlichkeit (emotionale Reaktionen, mentales Wohlbefinden / Unbehagen) zu gewinnen.

#### Pulsfrequenz

Generell wurde eine Erhöhung der Pulsfrequenz aufgrund ansteigender Geschwindigkeit registriert. Insgesamt lag die Pulsfrequenz bei allen Versuchspersonen in einem physiologischen Bereich von 76 bis 123 Schlägen pro min. Das Maß der Pulszunahme sowie die absoluten Werte zeigten starke interindividuelle Unterschiede. Die Ermittlung der Pulsfrequenz hat verwertbare Anhaltspunkte geliefert, war jedoch nur teilweise geeignet zuverlässige Werte zur Beurteilung unterschiedlicher Helmsysteme zu liefern.

Ein Vergleich der individuellen Messwerte, die bei den Projekthelmen bei der Geschwindigkeit von 160 km/h erfasst wurden, machte deutlich, dass mit einigen Helmen bei allen Versuchspersonen einerseits eine relativ niedrige, andererseits eine relativ hohe Pulsfrequenz gemessen wurde.

So ergab der für diese Geschwindigkeit eher ungünstige Crosshelm UV FX bei den Versuchspersonen die relativ höchste Herzfrequenz und Helme der oberen Preiskategorie eher eine niedrige Pulsfrequenz.

Aufgrund der Schwankungen und der teilweise geringen Unterschiede zwischen den Helmen, erscheint es fraglich, ob das Kriterium Pulsfrequenz geeignet ist, um Aussagen zur Qualität eines Helmes zu machen.

#### EMG

Das Verfahren, die Beanspruchung des Musculus sternocleidomastoideus durch Erfassung der Muskelaktivität mittels eines Elektromyogramms darzustellen, hat verwertbare Ergebnisse erbracht. Es könnte jedoch unter anderem durch einen individuell adaptierbaren Messbereich, größere Auflösung, eine erhöhte Reproduzierbarkeit der Kopfposition sowie eine größere Anzahl an Versuchspersonen in seiner Eignung noch verbessert werden.

Die Werte der EMG Messungen lagen zwischen 6 und 90  $\mu\text{V rms}$  (mikro Volt root mean square), wobei starke interindividuelle Unterschiede bestanden.

Bei den vorliegenden Untersuchungen ließ das System qualitative Aussagen zu und es konnten aerodynamisch gute und ungünstige Helme unterschieden werden.

Eine Rangfolge der Helme, die sich aus den Ergebnissen der EMG Messung ergibt, stimmt nur partiell mit der Rangfolge, die sich aus den Gesamtkräften des Kraftmessroboters ergibt, überein. Und obwohl der Kraftmessroboter reproduzierbare Werte für die Kräfte in den drei Richtungen erfassen kann, muss angemerkt werden, dass die drei Kräfte sowie die vektoriel-

le Addition derer nur teilweise der Beanspruchung des Motorradaufsassen entsprechen. Im Gegensatz dazu ermöglicht die EMG Messung Aussagen zur Aktivität des Musculus sternocleidomastoideus, die die tatsächliche Beanspruchung des Motorradaufsassen zum Ausdruck bringt.

#### Sinusarrhythmie, EDA

Die Erfassung und Auswertung der Sinusarrhythmie und der elektrodermalen Aktivität ließ unter den gegebenen Versuchs- und Randbedingungen keine helmspezifischen Aussagen zu.

## 6.6 Darstellung der Temperatur Messdaten

Zur Beurteilung der Funktionalität der Belüftung und der Temperatur innerhalb des Helms wurde im Rahmen dreier Untersuchungsphasen – Windkanalversuche, systematische Fahrversuche 1, systematische Fahrversuche 2 – die Temperatur innerhalb und außerhalb des Helmes gemessen.

Während der Untersuchung im Windkanal wurden erste Daten mit der Messkette gesammelt. Bei der Auswertung der Temperaturmessungen und dem Vergleich der Messwerte aus dem Windkanal einerseits und Ergebnisse der systematischen Fahrversuche andererseits wurden folgende Erkenntnisse gewonnen:

- Die Anzahl der Messsensoren (3 Stück), die dadurch limitiert gewesen war, dass 5 der 8 Kanäle der Messkette anderweitig belegt wurden, erschien zu gering, um eindeutige Aussagen zur Temperaturentwicklung innerhalb des Helms zu treffen
- Der Temperaturanstieg im Windkanal während eines einzelnen Versuchsdurchgangs ist zu groß, so dass die Auswertung der Temperaturdaten relativiert werden musste
- Die Konformität der Temperaturverläufe unterschiedlicher Sensoren bei einem Helm fiel im Windkanal insgesamt höher aus, als im Fall der systematischen Fahrversuche (max ca. 2–3°C versus max 5–6°C)
- Der Einfluss der Belüftung fällt in den Windkanalversuchen fast durchgängig gering aus oder fehlt vollkommen, was u. U. mit der starken Aufwärmung des Windkanals während der Versuche zusammenhängen könnte. Ergebnisse der systematischen Fahrversuche konnten als eindeutiger und differenzierter eingestuft werden.

Diese Punkte regten die Planung einer dritten Messetappe an, die sich ausschließlich der Datengewinnung hinsichtlich des Belüftungseinflusses auf die Helminnentemperatur widmete. In dieser Versuchsreihe wurden drei weitere Temperaturinnensensoren eingesetzt.

### 6.6.1 Kalibriermessungen der Temperatursensoren

#### 6.6.1.1 Vorversuche zum Ansprechverhalten der Temperatursensoren

In Labor-Vorversuchen wurde das Ansprechen der vier Temperatursensoren (Sensorik wie in Teil I, Systematische Fahrversuche) überprüft (Abbildung 6-37). Hierzu wurden die Innentemperaturen in einem Integralhelm bei geschlossener Belüftung und geschlossenem Visier an einer sitzenden Versuchsperson gemessen. Der Außensensor war hierbei freihängend in 120 cm Höhe an einem Stativ direkt neben der Versuchsperson befestigt. Die Versuchsdauer lag bei 30 Minuten. Innerhalb von 20 Minuten erhöhte sich die an der Kopfoberfläche gemessene Temperatur bis auf über 37°C, danach wurde der Helm abgesetzt und die Innensensoren neben dem Außensensor befestigt. Es dauerte ca. 10 Minuten bis alle Sensoren wieder den gleichen Wert (Raumtemperatur ca. 24°C) anzeigten. Bei weiteren Versuchen wurde festgestellt, dass die Belüftungseinstellungen an den Helmen im Laborversuch (bei sitzender Versuchsperson) keinen Einfluss auf die Temperaturentwicklung im Helm hatten.

Es zeigte sich jedoch, dass schon durch das Auf- und Absetzen der Netzkappe und die sich dadurch ergebenden Veränderungen der Position der Sensoren Temperaturunterschiede von ca. 1°C zu beobachten waren.

Da das Hauptziel jedoch darin liegt, den Einfluss der Belüftungseinstellung am Helm auf die Helminnentemperatur zu ermitteln, können diese Effekte vernachlässigt werden, da das Ansprechen der Sensoren auf die Temperaturänderung infolge der Betätigung der Belüftungseinstellungen in allen Fällen gegeben ist.



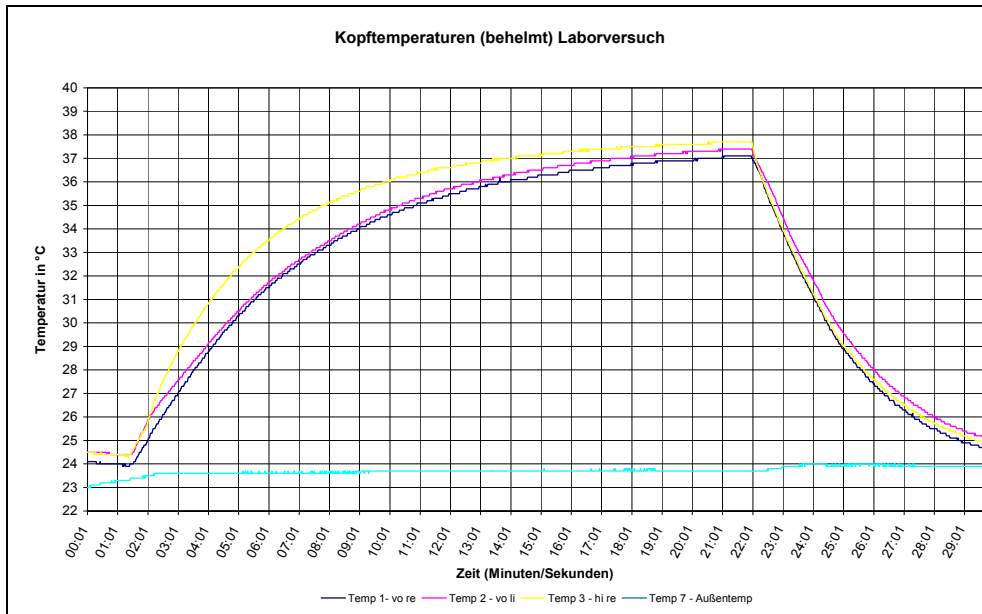


Abbildung 6-37: Ansprechverhalten der Temperatursensoren

### 6.6.1.2 Vorversuche zur Messgenauigkeit der Sensoren

Im Labor wurden alle sieben Temperatursensoren auf gleichmäßiges Ansprechen überprüft (Abbildung 6-38). Dafür wurden allen Sensoren der gleichen Temperatur ausgesetzt. Die maximale Temperaturabweichung zwischen den Sensoren (Spannweite) lag bei  $0,6^{\circ}\text{C}$  bei einer maximalen Abweichung vom Mittelwert aller Sensoren von  $0,4^{\circ}\text{C}$ . Als Innensensoren wurden die sechs Sensoren mit der geringsten Abweichung der Messwerte untereinander ausgewählt; der Sensor (Temp\_6) mit der größten Messwerteabweichung im Vergleich zu den anderen Sensoren wurde als Außentempersensor verwendet.

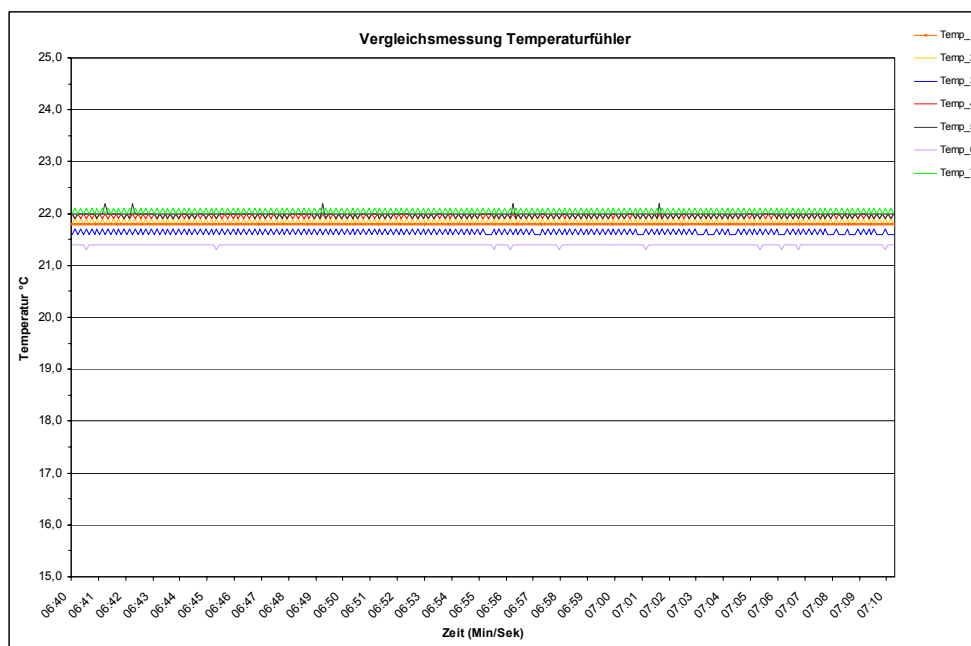


Abbildung 6-38: Vergleichsmessungen, Temperaturfühler

### 6.6.1.3 Vorversuche zur Kopftemperatur

In einem weiteren Laborversuch wurde die Kopftemperatur am unbehelmteten Kopf gemessen. Die hierzu verwendete Messtechnik war dieselbe wie in Teil 2 der systematischen Fahrversuche.

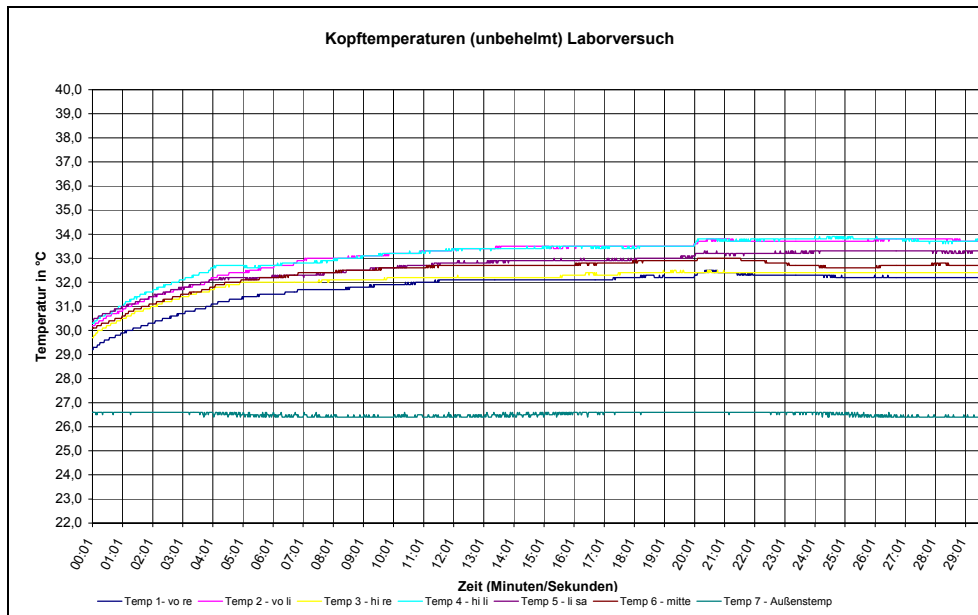


Abbildung 6-39: Kopftemperaturen (unbehelmt), Laborversuch

Die gemessenen Kopftemperaturen blieben nach der Aufwärmphase (Minute 25) stabil bei Werten zwischen minimal 32,2°C und maximal 33,9°C, die Durchschnittstemperatur aller Kopftemperatursensoren nach der Aufwärmphase lag bei 33°C. Während des Versuches lag die Außentemperatur bei Durchschnittlich 26,5°C.

In der Literatur werden Kopfhauttemperaturen zwischen 34 und 36°C, bei Lufttemperaturen von 23 bis 34°C genannt. Der Einfluss und die Größe der Isolationsfähigkeit der Haare ist noch nicht letztendlich geklärt. Brühwiler schreibt 2003 hierzu: "The effects of hair are also an open question, and important considering the sizeable insulation which hair can provide."

### 6.6.2 Temperaturverhalten – Fahrversuche Teil 2

In dem Kapitel werden die Verläufe der gemessenen Helminnentemperaturen für jeden Helm dargestellt, die bei den Fahrversuchen Teil 2 mit insgesamt sechs Innensensoren und einem Außentemperatursensor erfasst wurden. Es wurden alle Projekthelme, auch die ohne Belüftungsbetätigung (UV FX, NE AR), in die Versuche mit einbezogen.

Die Temperaturmesswerte unter einem Helm sowie auch zwischen den Helmen unterliegen einer großen Variation. Bei mehreren Helmen konnte nach Öffnen der Belüftungseinrichtungen keine Veränderung der gemessenen Temperaturen festgestellt werden. Denkbar wäre, dass keiner der Sensoren im Bereich eines Belüftungskanals liegt, dies ist jedoch aufgrund der Anzahl (sechs Sensoren) unwahrscheinlich; zumindest ein Sensor sollte eine Änderung der Temperatur nach Belüftungsbetätigung anzeigen.

Die Befürchtung, dass die während der Versuchsdurchführung steigende Außentemperatur die Versuchsergebnisse zu stark beeinflussen könnte hat sich nicht bewahrheitet, auch wenn es auf der Hand liegt, dass geringere Außentemperaturen deutlichere Abkühlungseffekte bewirken. Es spricht also für die Funktionstauglichkeit der Kopfbelüftung eines Helmes, wenn ein Abkühlungseffekt trotz höherer Außentemperaturen zu erkennen ist. Im Umkehrschluss ist die Effektivität der Belüftung bei niedrigen Außentemperaturen und keiner erkennbaren Temperaturminderung nach deren Betätigung als eher gering zu beurteilen.

Die während der Versuche ansteigende Außentemperatur bewirkte, dass die Innentemperatur vor dem Aufsetzen der Helme ebenfalls anstieg, obwohl die Helme in einem sonnengeschützten Bereich gelagert wurden. Jedoch findet i. d. R. nach den ersten drei Minuten des Versuches, insbesondere bei Erreichen der Fahrgeschwindigkeit (80 km/h), ein Einpegeln der Messwerte statt.

Die Ergebnisse dieser Temperaturmessung an den zwölf Helmen sind den nachfolgenden Graphiken zu entnehmen.

Es werden in jedem Diagramm der gesamte Versuchsablauf dargestellt (z. B. Abbildung 6-40), mit den Temperaturmesswerten (Innen und Außentemperatur), der Fahrgeschwindigkeit und den Markern zur Abgrenzung der einzelnen Versuchsphasen.

In der Phase zwischen dem Marker „Beginn Versuchsstrecke“ und dem Marker „Belüftung offen“ ist die Belüftung geschlossen und die Helminnentemperatur pendelt sich auf einen konstanten Wert ein. Ab dem Marker „Belüftung offen“ wurde die Belüftung geöffnet. Ein Einfluss dessen kann an variierenden Helminnentemperaturmesswerten erkannt werden.

Einen weiteren wichtigen Bereich stellt die Fahrtunterbrechung dar, welche durch die Marker „Parkplatz Anfang“ und „Parkplatz Ende“ bezeichnet ist und i. d. R. von steigender Helminnentemperatur begleitet ist.

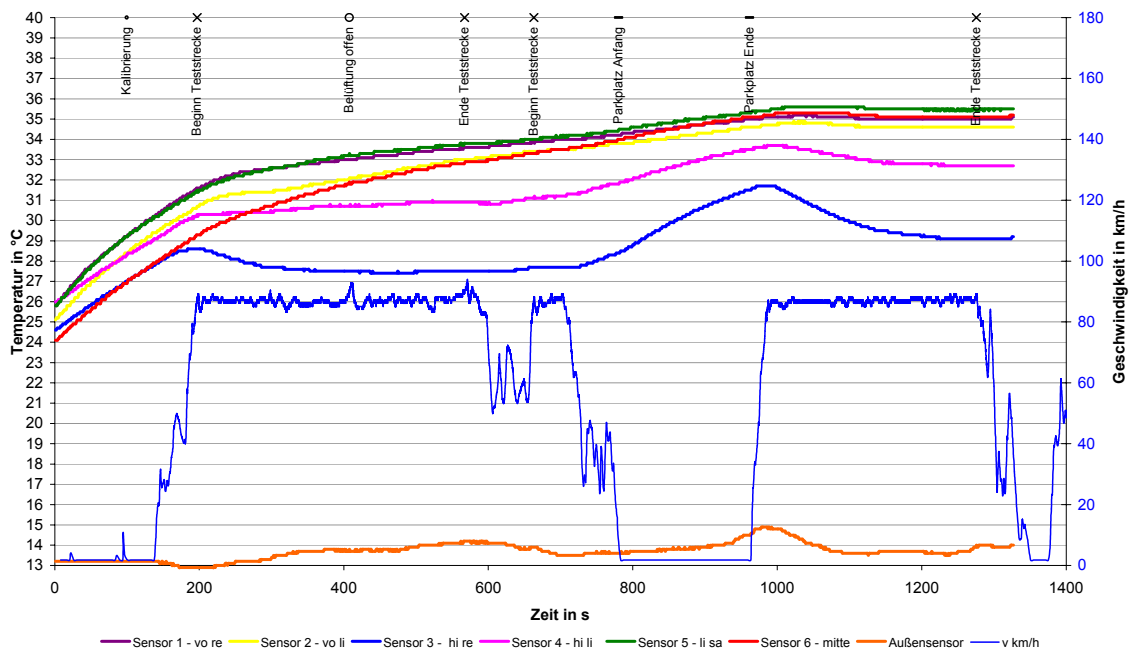


Abbildung 6-40: Temperaturverlauf Fahrversuche Teil 2; UV BO (1)

Der Helm UV BO (1) wurde als erstes gemessen, wodurch aufgrund des frühen Zeitpunkts noch eine geringe Außentemperatur vorlag (Abbildung 6-40). Zu Beginn des Versuches steigen die Messwerte an und pendeln sich auf einen Wert ein. Die beiden hinteren Temperatursensoren geben einen tendenziell geringeren Wert an, als die anderen Temperatursensoren. Während der Fahrtunterbrechung nimmt die Temperatur unter dem Helm in erwarteter Weise zu, um eine anschließende Abkühlung durch den Fahrtwind – v. a. im hinteren Bereich – zu erfahren. Eine Veränderung der Helminnentemperatur nach Öffnen der Belüftung ist nicht zu erkennen, jedoch zeigt die Messung, dass die hinteren Sensoren vom Fahrtwind abgekühlt werden.

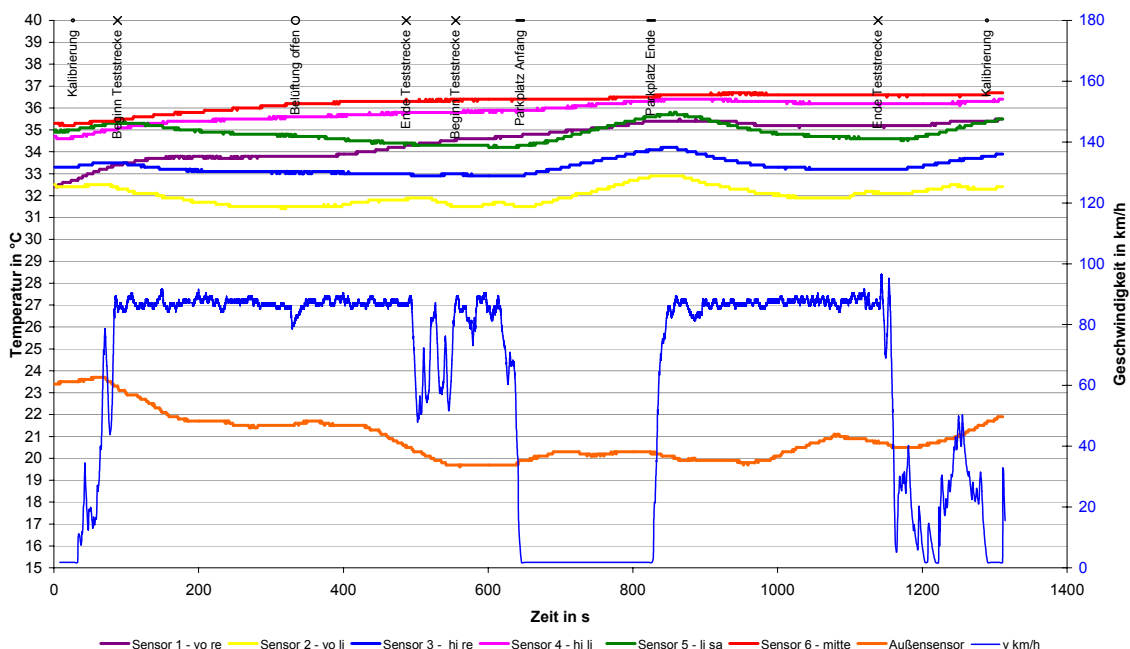


Abbildung 6-41: Temperaturverlauf Fahrversuche Teil 2; UV BO (2)

Um Unterschiede bei einer Messung mit höheren Außentemperaturen darzustellen, wurde der Versuch mit dem Helm UV BO am Ende der Messung wiederholt (Abbildung 6-41). Im Vergleich zum ersten Versuch ist die Innentemperatur insgesamt höher und auch die hinteren Sensoren ergaben Messwerte, die sich eher an den anderen Temperaturmesswerten orientierten. Ein Einfluss nach Öffnung der Belüftung ist auch hier nicht zu erkennen.

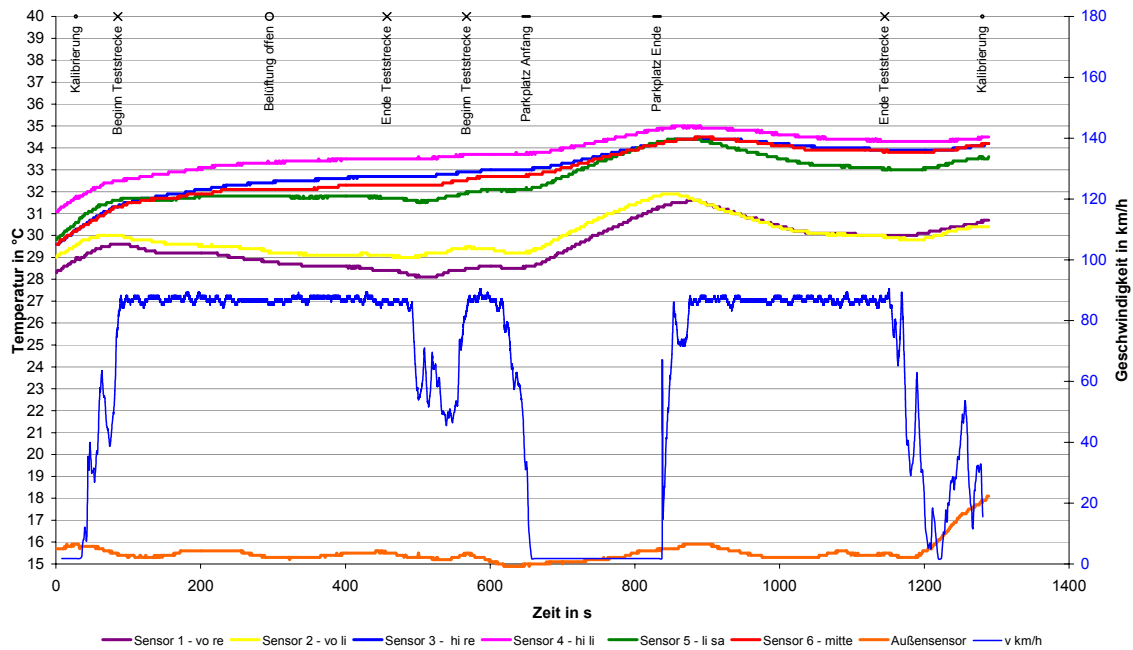


Abbildung 6-42: Temperaturverlauf Fahrversuche Teil 2; UV FX

Bei dem Helm UV FX (Crosshelm) ist keine Belüftungseinstellung möglich, jedoch sind mehrere Belüftungskanäle vorhanden. An zwei der sechs Messsensoren ist durch den Luftstrom nach Beginn der Fahrt ein leichter Abkühlungseffekt erkennbar (Abbildung 6-42). Die anderen vier Sensoren dagegen zeigen einen weiteren Temperaturanstieg an. Der Kühleffekt nach der Fahrtunterbrechung auf dem Parkplatz ist ebenfalls auf den Fahrtwindeffekt zurückzuführen.

Insgesamt ist das Niveau der Helminnentemperatur relativ niedrig.

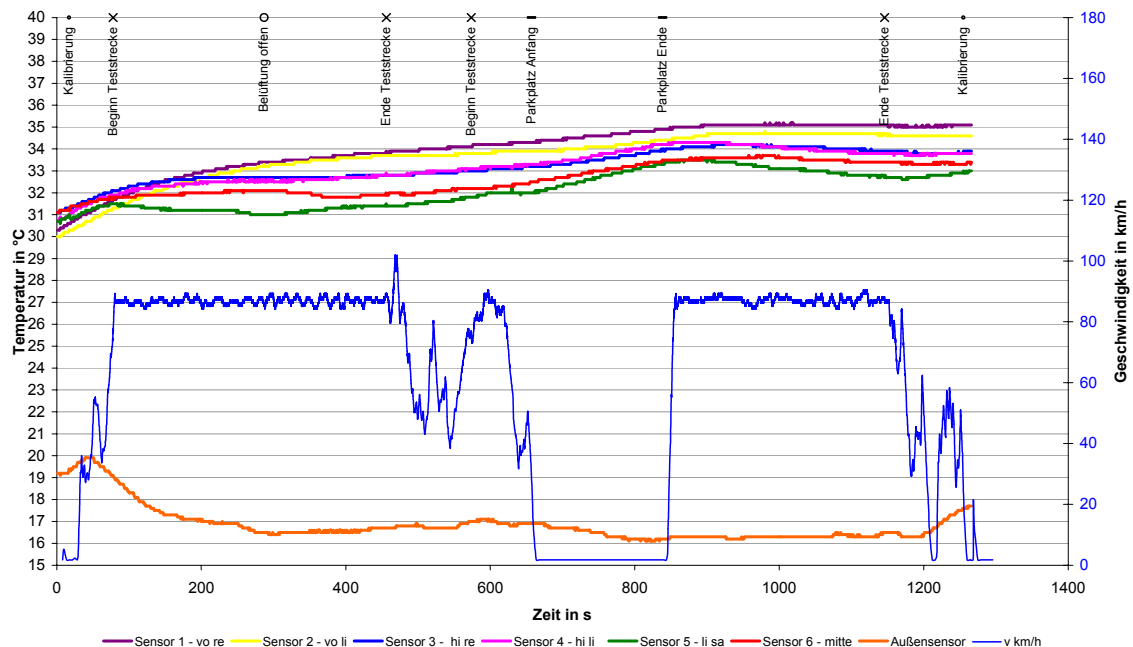


Abbildung 6-43: Temperaturverlauf Fahrversuche Teil 2; AI SV

Bei dem Helm AI SV sind fast keine Veränderungen durch das Öffnen der Belüftung feststellbar (Abbildung 6-43). Auch der Temperaturabfall nach der Fahrtunterbrechung ist relativ gering.

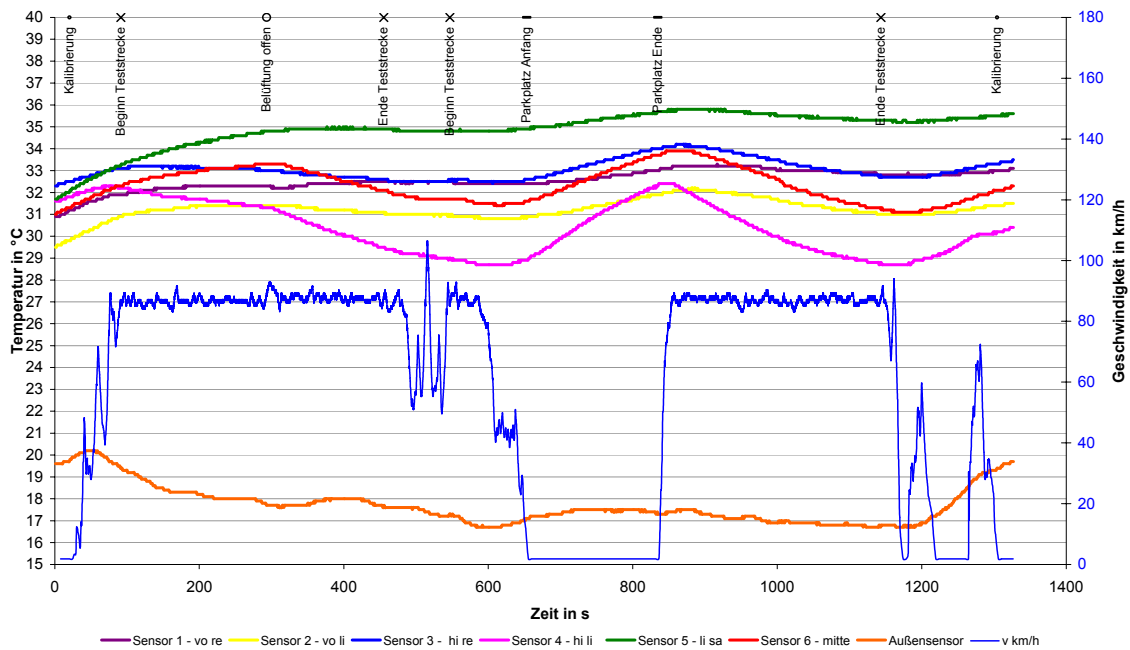


Abbildung 6-44: Temperaturverlauf Fahrversuche Teil 2; PR RF

Der Helm PR RF zeigt anhand von zwei deutlich ausgeprägten Kurven eine Abkühlung der Helminnentemperatur durch das Öffnen der Belüftung um ca. 2 – 3°C im mittleren und hinteren Bereich, während die Sensoren im vorderen Bereich kaum eine Veränderung aufzeigen (Abbildung 6-44). Ein deutlicher Temperaturabfall ist auch nach der Fahrtunterbrechung zu erkennen.

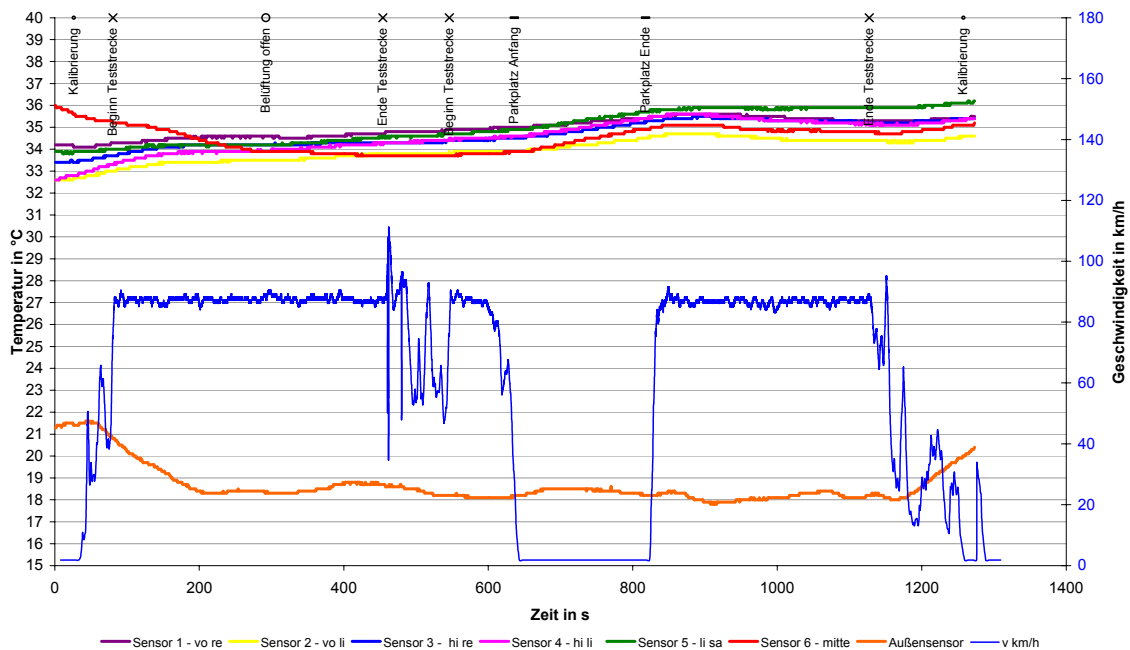


Abbildung 6-45: Temperaturverlauf Fahrversuche Teil 2; NO N8

Die Abbildung 6-45 zeigt den Helm NO N8, bei dem der Verlauf der einzelnen Helminnentempersensoren durchweg konform ist und einen konstanten Wert von ca. 34°C hat. Der leichte Temperaturanstieg während der Fahrtunterbrechung wird durch die anschließende Fahrt wieder kompensiert. Ein Einfluss der Belüftungseinrichtung nach Öffnen der Belüftung ist nicht erkennbar und auch generelle Abkühlung durch den Fahrtwind zeigt sich nur sehr schwach.

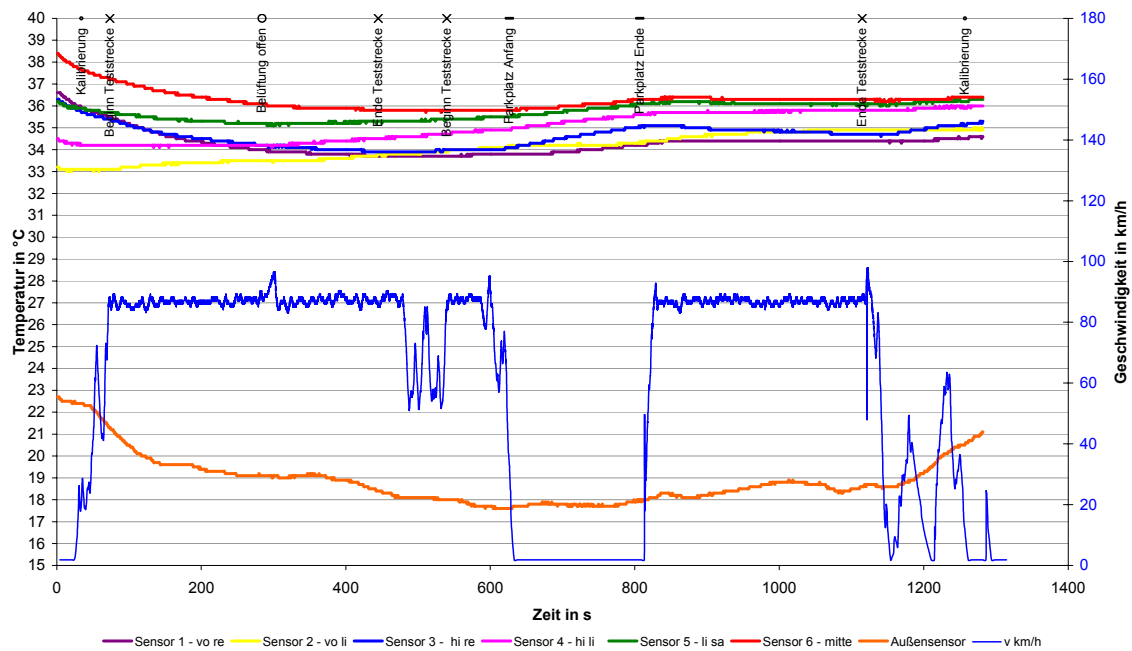


Abbildung 6-46: Temperaturverlauf Fahrversuche Teil 2; NE MO

Die Temperaturmessungen deuten bei dem Helm NE MO darauf hin, dass bei diesem Helm das Öffnen der Belüftung keine Wirkung zeigt (Abbildung 6-46). Durch die schon während der Fahrt sehr hohe Temperatur im Helminneren (ca. 35°C), scheint während der Unterbrechung auf dem Parkplatz kaum ein noch weiterer Anstieg möglich zu sein. Somit bleibt die Temperatur in dieser Phase auf dem schon erreichten hohen Niveau.

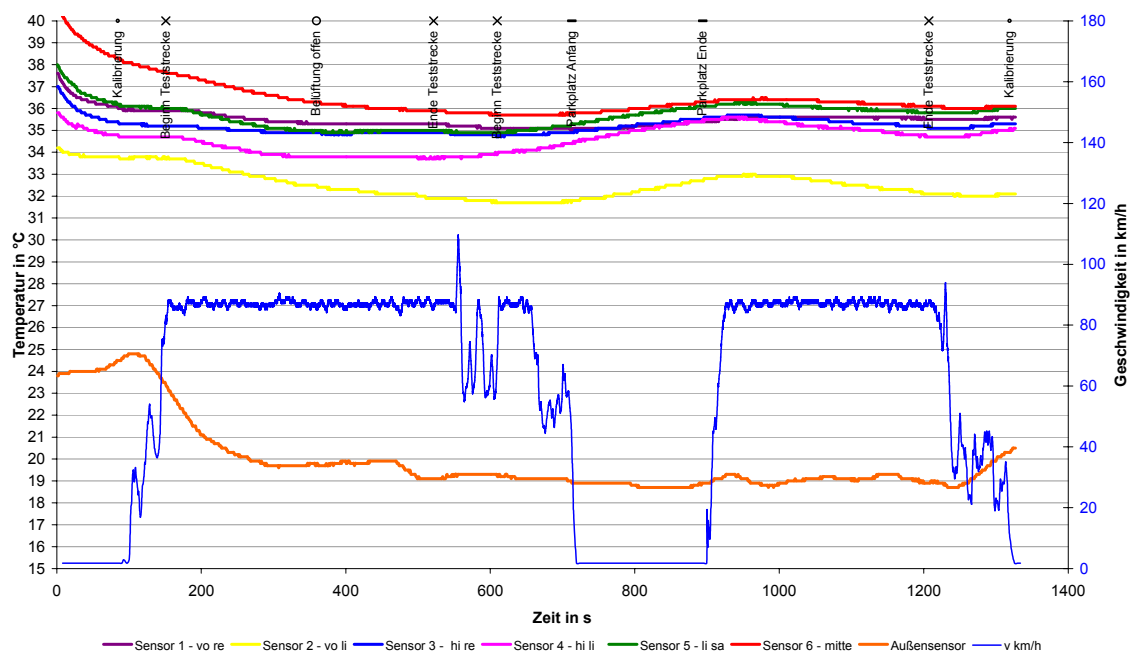


Abbildung 6-47: Temperaturverlauf Fahrversuche Teil 2; NE AR

Der Helm NE AR (Jethelm ohne Belüftung) hat über dem gesamten Versuch relativ hohe Helminnentemperaturwerte (Abbildung 6-47). Nach Einpegeln der Temperaturmesswerte, zeigt der Sensor voli einen ca. 2 – 3°C niedrigeren Wert an. Eine Abkühlung durch den Fahrtwind im Helminnenraum ist als eher gering zu beurteilen.

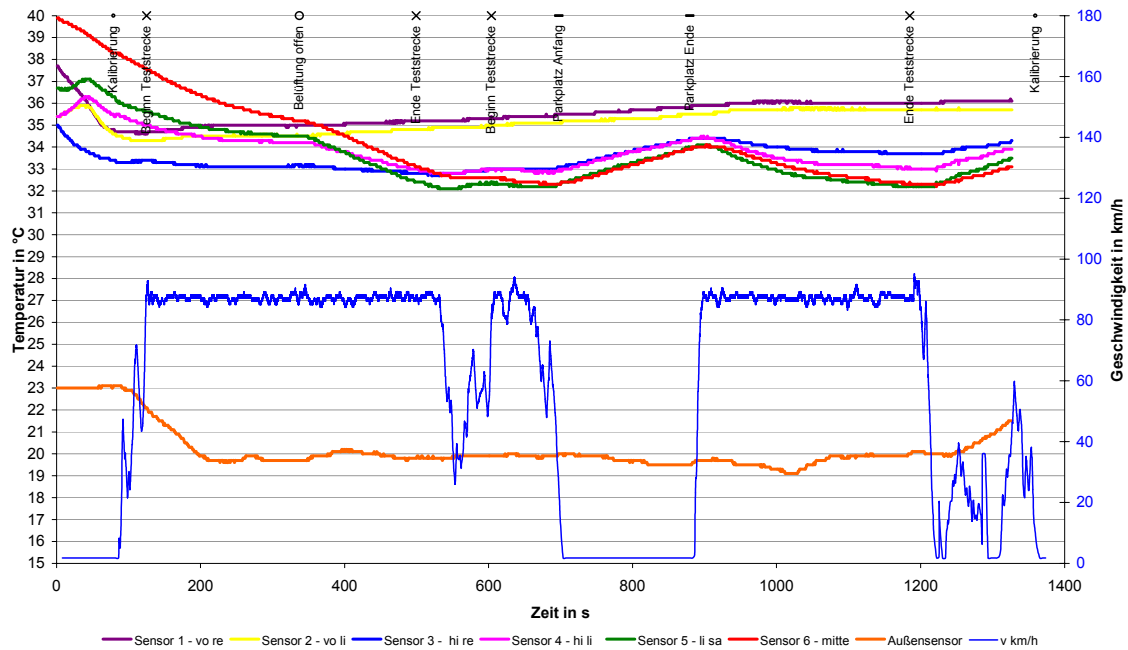


Abbildung 6-48: Temperaturverlauf Fahrversuche Teil 2; SC S1

Die Abbildung 6-48 des Helmes SC S1 zeigt deutliche Ergebnisse und differenzierte Abstufungen aller Versuchsphasen voneinander. Nach dem Aufsetzen des Helmes findet ein rasches Einpegeln (Kühlung) der Helminnentemperatur statt.

Nach Öffnung der Lüftung zeigen drei Sensoren (im hinteren Bereich: hi li; li sa; Mitte) einen deutlichen Abfall der Temperatur. Dieses Verhalten spiegelt sich auch nach der Fahrtunterbrechung wider. Die beiden vorderen Sensoren messen einen konstanten Wert über dem gesamten Versuchsablauf.

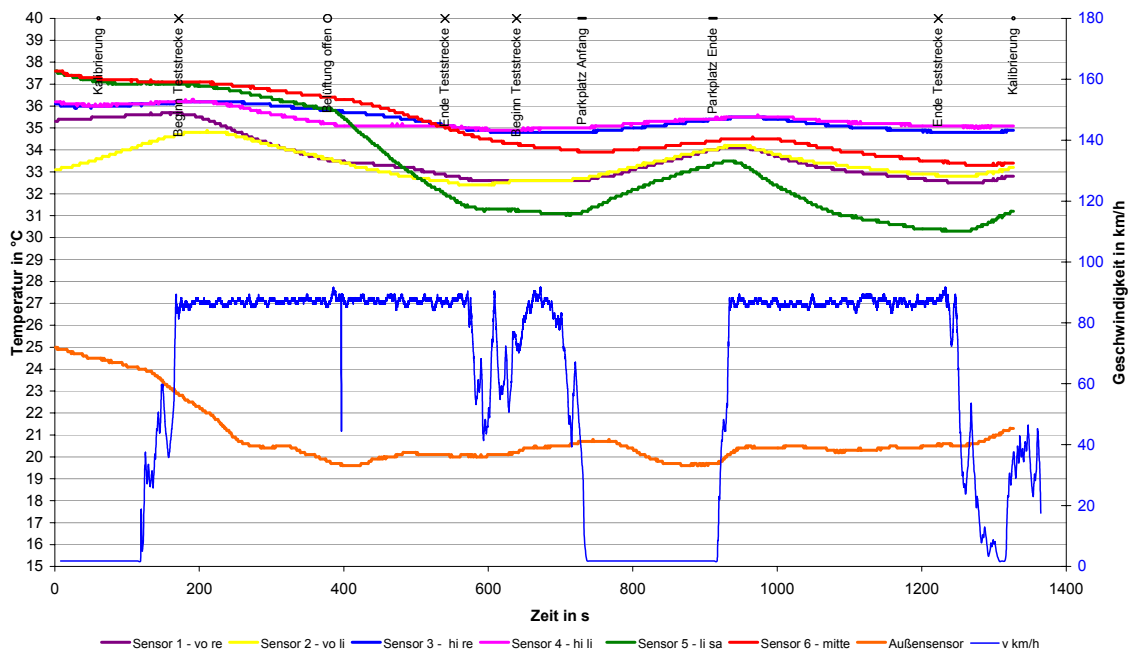


Abbildung 6-49: Temperaturverlauf Fahrversuche Teil 2; SC C2

Der Helm SC C2 zeigt eindeutige Ergebnisse hinsichtlich der Belüftung (Abbildung 6-49). Während die Sensoren vo re und hi re insgesamt nur eine geringe Abkühlung durch den Luftstrom erfahren, zeigen andere Sensoren ein Abkühlungseffekt bis zu 5°C (li sa). Vier der sechs angebrachten Temperatursensoren reagieren auf die Öffnung der Belüftung mit einem zusätzlichen Temperaturverlust von 1 – 5°C und sorgen auch im weiteren Verlauf für eine stete Kühlung durch Fahrtwind. Insgesamt erreicht die Helminnentemperatur bei offener Belüftung moderate Durchschnittswerte.



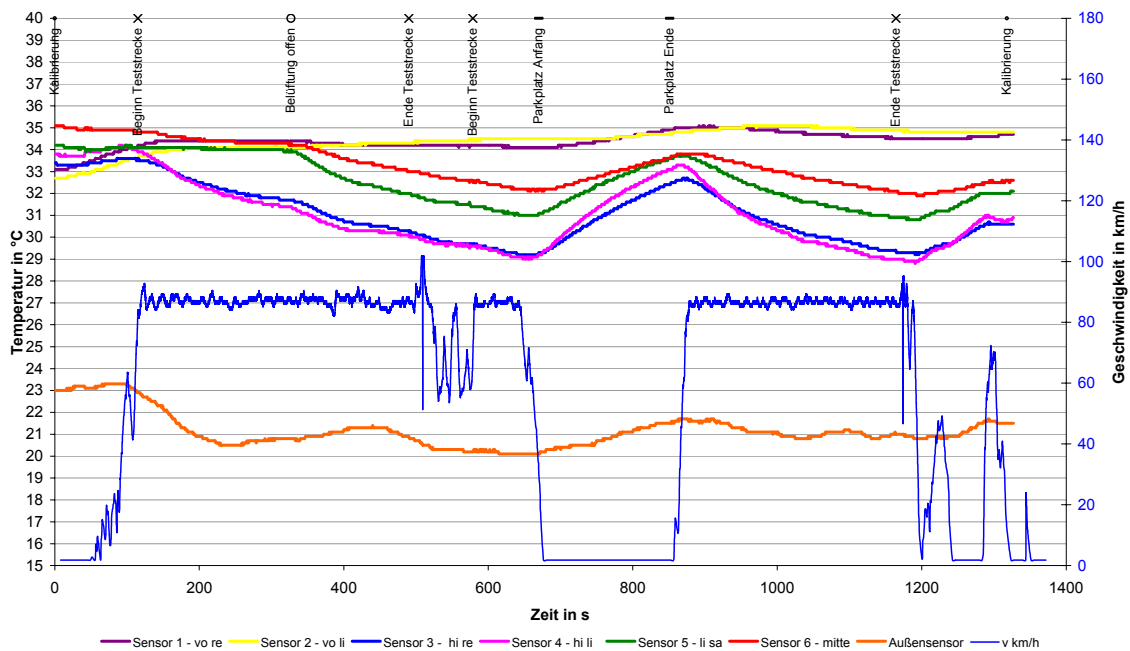


Abbildung 6-50: Temperaturverlauf Fahrversuche Teil 2; SC J1

Bei diesem Helm handelt es sich um einen Jethelm, der mit einem bis zum Kinnbügel reichendem Visier ausgestattet ist und über eine Belüftung für den Kopfbereich verfügt. Die hinteren Sensoren erfahren durchweg eine starke Kühlung durch den Fahrtwind (Abbildung 6-50). Die mittleren Sensoren werden nach Öffnung der Belüftung gekühlt. Dazu stehen im Gegensatz die Sensoren im vorderen Bereich, die fast keine Kühlung durch den Fahrtwind erfahren. Die Effektivität der Belüftung wird nach der Fahrtunterbrechung erneut deutlich. Insgesamt hat dieser Helm eine geringe Helminnentemperatur auch bei einer hohen Außentemperatur.

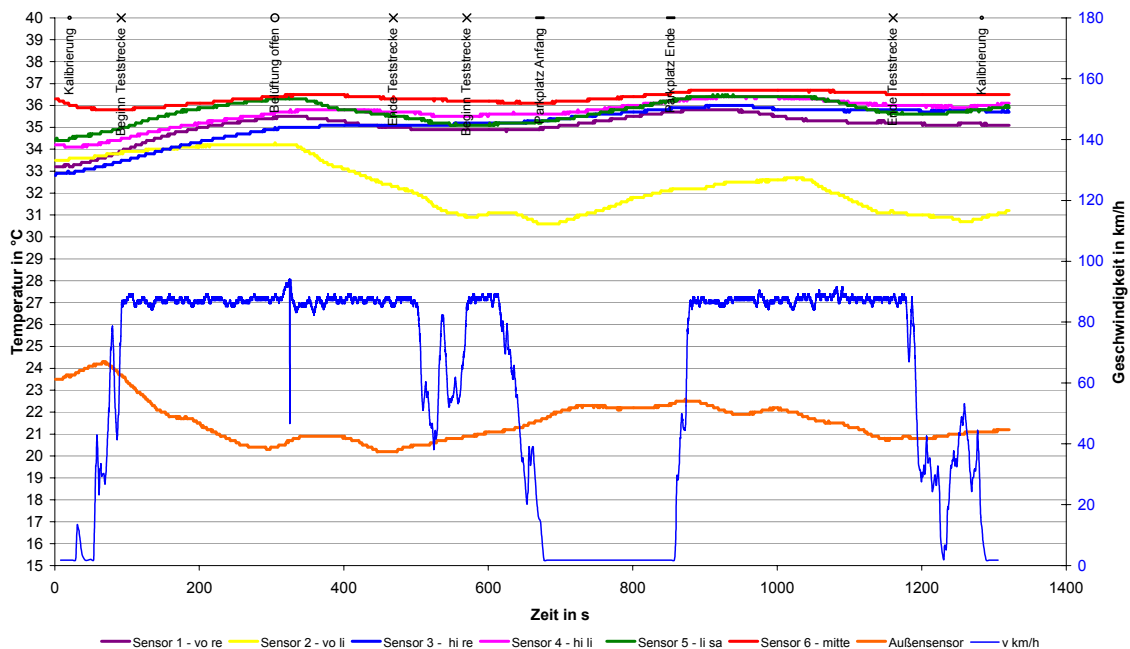


Abbildung 6-51: Temperaturverlauf Fahrversuche Teil 2; SH XR

Bei der Messung mit dem SH XR zeigen fünf der Temperatursensoren durchgehend hohe Innentemperaturwerte (Abbildung 6-51). Weder durch Fahrtwind, noch durch Öffnung der Belüftung findet eine deutliche Abkühlung statt. Der Temperatursensor vo li wird rasch nach Öffnung der Belüftung abgekühlt von über 34°C auf unter 31°C. Die Innentemperatur bleibt während des gesamten Versuches auf einem insgesamt hohen Niveau von ca. 36°C.

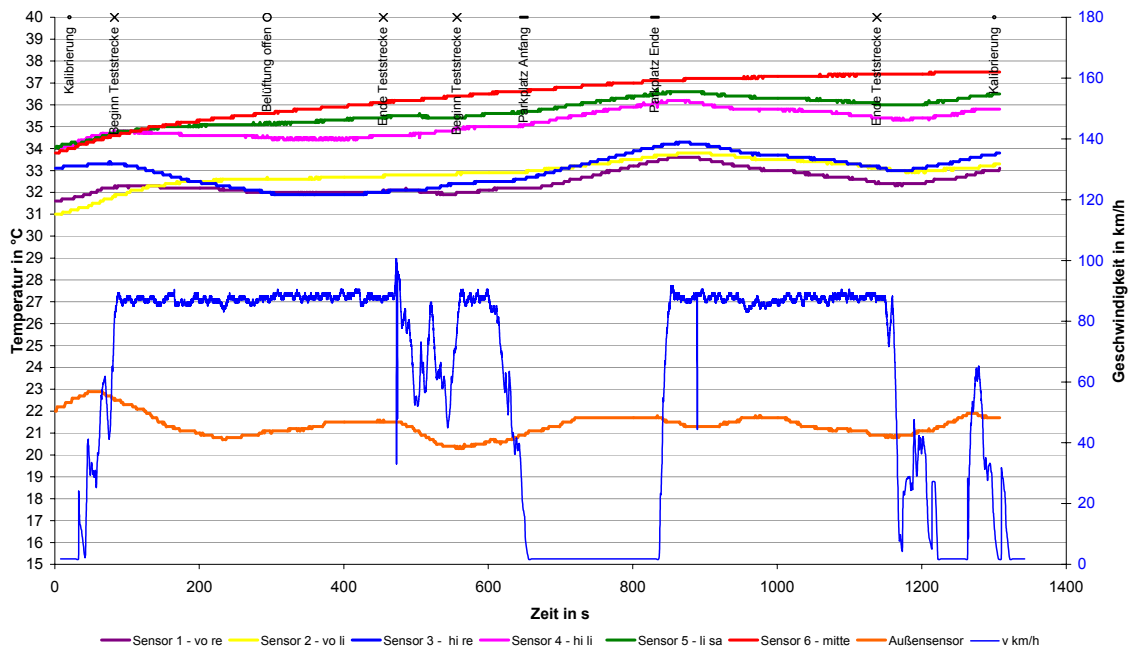


Abbildung 6-52: Temperaturverlauf Fahrversuche Teil 2; LI BQ

Die Temperaturmessung mit dem LI BQ (Abbildung 6-52) zeigt keine Veränderung nach Öffnen der Belüftung, jedoch findet eine Abkühlung einiger Sensoren durch den Fahrtwind statt, die vermutlich nicht aus der vorhergesehenen Belüftung resultiert, sondern aufgrund der großen Spaltmaße am Visier und der eher ungünstigen Passform der Komfortpolsterung. Insgesamt ist die Helminnentemperatur auf einem mittleren Niveau.

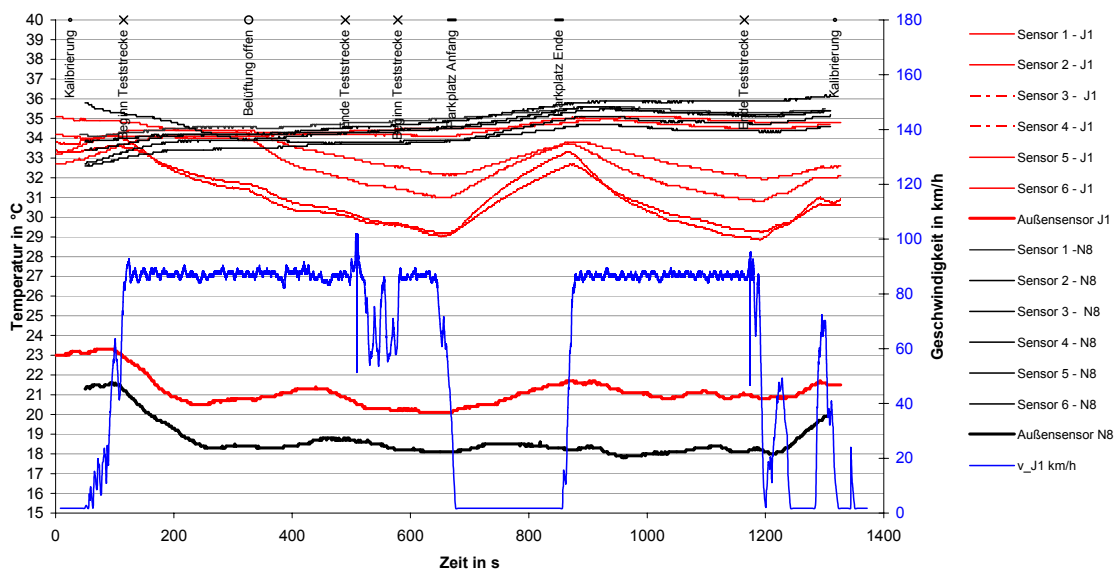


Abbildung 6-53: Gegenüberstellung zweier Belüftungseinrichtungen

Abschließend wird in der Abbildung 6-53 eine vergleichende Darstellung der Messergebnisse bei den Messfahrten mit den Helmen NO N8 (schwarz) und SC J1 (rot) gezeigt.

Während beim Helm SC J1 bei vier Sensoren eine klare Reaktion im Sinne einer Temperaturminderung im Helm erkennbar ist, zeigen die Sensoren des gewählten Vergleichshelms NO N8, trotz einer wesentlich geringeren Außentemperatur keinerlei Reaktion auf die Belüftungsbetätigung.

Weiterhin bleibt festzuhalten, dass zwei der vier Temperatursensoren des SC J1 im Zugluftbereich des Helmes liegen, und somit direkt nach Fahrtantritt eine Minderung der Temperatur anzeigen, dennoch ist auch bei diesen nach Belüftungsbetätigung eine deutliche Temperaturabnahme zu erkennen.

### 6.6.3 Temperaturverhalten – Gesamtübersicht

In diesem Kapitel wird eine deskriptive und tabellarische Gesamtübersicht zum Temperaturverhalten der Helme während der einzelnen Versuchsphasen dargestellt. Dabei wird anhand von verschiedenen Kriterien das Temperaturverhalten der Helme bei den systematischen Fahrversuchen Teil 1 und Teil 2 beschrieben. Die Auswertung der Windkanalversuche ergab lediglich erste Hinweise auf funktionierende Belüftungssysteme, konnte aber keinen Beitrag zur speziellen Differenzierung der Projekthelme leisten, weshalb diese Bewertung in der Gesamtübersicht entfällt.

Bei jedem dieser Versuche wurde die Belüftung zu einem definierten Zeitpunkt geöffnet, so dass grundsätzlich Aussagen zur Funktion der Belüftung gemacht werden können, andererseits eignete sich nicht jeder Versuch optimal zur Beschreibung des Temperaturverhaltens. z. B. ist die Außentemperatur im Windkanal meist über 30°C, so dass eine Abkühlung fast nicht zu erreichen ist. Zudem können die oben beschriebenen Temperaturverläufe, die bei den systematischen Fahrversuchen Teil 2 nur mit einer Vp durchgeführt wurden, bestätigt werden. Zu jedem Helm wird eine zusammenfassende Aussage bezüglich des Temperaturverhaltens vermerkt.

Für die Auswertung der Temperaturmesswerte wurden folgende Auswertungskriterien zugrunde gelegt:

#### 1. Einfluss der Belüftung:

Bei der Öffnung der Helmbelüftung sollte ein Abkühlungseffekt innerhalb des Helms eintreten. Dieser fand bei einigen der Projekthelme in erwarteter Weise statt, in vielen Fällen jedoch war keine oder keine wesentliche Abkühlungstendenz sichtbar. Im Idealfall sollte die Betätigung der Belüftungseinrichtung einen sofortigen „Knick“ der Temperaturkurve eines oder mehrerer Temperaturmesssensoren nach unten bewirken. Zeigen die aufgenommenen Temperaturkurven dagegen keine Änderung zum vorherigen Verlauf, ja sogar eine weitere stetige Erwärmung der Helminnentemperatur, kann man davon ausgehen, dass die Belüftung keinerlei Temperaturänderung zum Ergebnis hatte und somit eine Abkühlungsfunktion nicht gegeben ist.

#### 2. Konformität der Temperaturverläufe unterschiedlicher Sensoren

Das Ausmaß der Konformität (Messkurvenkonformität Sensor 1–6, im Folgenden abgekürzt mit MKK) zwischen dem Sensor mit dem geringsten und dem höchsten Temperaturwert zu einem gegebenen Zeitpunkt sagt etwas über die Homogenität oder Heterogenität der Temperatur innerhalb des Helms aus. Beim Vergleich der erstellten Diagramme wurde deutlich, dass sich die Messungen in diesem Aspekt stark unterscheiden. Die Profile zeigen z. T. eine geringe Temperaturdifferenz von nur 1–3°C zwischen den Sensoren, z. T. jedoch eine recht große von bis zu ca. 6–8°C, die entweder schon von Beginn der Versuchsfahrt an gegeben ist oder sich erst während der Fahrt einstellt und verstärkt.

Wenn ein Temperatursensor wesentlich niedrigere Werte misst, dann befindet sich dieser in direkter Nähe einer Belüftungsöffnung oder eines Belüftungskanals.

Abweichungen der Sensoren untereinander lassen auch erkennen, ob eine andauernde Belüftung im Helm gegeben ist oder ob der Helm relativ hermetisch abgedichtet ist. Zudem kann ein Sensor auch an einer Stelle liegen an der die Komfortpolsterung stark zusammengedrückt wird und eine Luftzirkulation deshalb nicht erfolgt. Siehe dazu auch Vorversuche zur Messgenauigkeit der Sensoren in Kapitel 6.6.1.2.

#### 3. Temperaturprofiländerungen bei 160 km/h:

Dieses Beurteilungskriterium erscheint deshalb notwendig, weil bei einigen der untersuchten Helme auffiel, dass während der systematischen Fahrversuche Teil 1 zwar bei der Betätigung der Belüftung keine oder eine nicht nennenswerte Temperaturverschiebung zu verzeichnen war, bei 160 km/h jedoch eine deutliche Abkühlung eines oder mehrerer Helmbeiriche stattfand, was nahe legt, dass manche Belüftungssysteme erst ab erhöhten Geschwindigkeiten messbare Effekte haben können. Bei den systematischen Fahrversuchen Teil 2 wurde die Geschwindigkeit 160 km/h nicht angefahren.

Helm	Systematische Versuche Teil 1	Systematische Versuche Teil 2
<b>UV BO</b>	<b>Einfluss Belüftung:</b> kein Effekt <b>MKK:</b> $\Delta t$ Beginn Teststrecke: ca. 1–3°C $\Delta t$ Ende Teststrecke: ca. 1–6°C	<b>Einfluss Belüftung:</b> kein Effekt <b>MKK:</b> $\Delta t$ Beginn Teststrecke: ca. 3°C $\Delta t$ Ende Teststrecke: ca. 5°C siehe Abbildung 6-40 u. Abbildung 6-41
Anmerkung	160 km/h: erkennbare Wirkung	
<b>UV FX</b>	<b>Einfluss Belüftung:</b> keine Betätigungselemente (Crosshelm) <b>MKK:</b> $\Delta t$ Beginn Teststrecke: ca. 2–3°C $\Delta t$ Ende Teststrecke: ca. 2–3°C	<b>Einfluss Belüftung:</b> keine Betätigungselemente (Crosshelm) <b>MKK:</b> $\Delta t$ Beginn Teststrecke: ca. 3°C $\Delta t$ Ende Teststrecke: ca. 5°C siehe Abbildung 6-42
Anmerkung	160 km/h: erkennbare Wirkung	
<b>AI SV</b>	<b>Einfluss Belüftung:</b> kein Effekt <b>MKK:</b> $\Delta t$ Beginn Teststrecke: ca. 2°C $\Delta t$ Ende Teststrecke: ca. 1°C	<b>Einfluss Belüftung:</b> kein Effekt <b>MKK:</b> $\Delta t$ Beginn Teststrecke: <1°C $\Delta t$ Ende Teststrecke: ca. 3°C siehe Abbildung 6-43
Anmerkung	160 km/h: leichte Wirkung	
<b>PR RF</b>	<b>Einfluss Belüftung:</b> bei niedriger Geschwindigkeit gering <b>MKK:</b> $\Delta t$ Beginn Teststrecke: ca. 2–3°C $\Delta t$ Ende Teststrecke: ca. 5–8°C	<b>Einfluss Belüftung:</b> leichte bis deutliche Abkühlung von jeweils 2 der 6 Sensoren <b>MKK:</b> $\Delta t$ Beginn Teststrecke: <3°C $\Delta t$ Ende Teststrecke: ca. 6°C siehe Abbildung 6-44
Anmerkung	160 km/h: deutliche Wirkung	
<b>NO N83</b>	<b>Einfluss Belüftung:</b> kein Effekt <b>MKK:</b> $\Delta t$ Beginn Teststrecke: 1–2°C $\Delta t$ Ende Teststrecke: 2–3°C	<b>Einfluss Belüftung:</b> kein Effekt <b>MKK:</b> $\Delta t$ Beginn Teststrecke: <3°C $\Delta t$ Ende Teststrecke: ca. 2°C siehe Abbildung 6-45
Anmerkung	160 km/h: keine Wirkung	
<b>NE MO</b>	<b>Einfluss Belüftung:</b> kein Effekt <b>MKK:</b> $\Delta t$ Beginn Teststrecke: ca. 3°C $\Delta t$ Ende Teststrecke: ca. 3°C	<b>Einfluss Belüftung:</b> kein Effekt <b>MKK:</b> $\Delta t$ Beginn Teststrecke: <5°C $\Delta t$ Ende Teststrecke: ca. 2°C siehe Abbildung 6-46
Anmerkung	160 km/h: Einfluss gering	

Helm	Systematische Versuche Teil 1	Systematische Versuche Teil 2
<b>NE AR</b>	<b>Einfluss Belüftung:</b> keine Belüftungseinrichtungen (Jet) <b>MKK:</b> $\Delta t$ Beginn Teststrecke: ca. 2°C $\Delta t$ Ende Teststrecke: ca. 2–3°C	<b>Einfluss Belüftung:</b> keine Belüftungseinrichtungen (Jet) <b>MKK:</b> $\Delta t$ Beginn Teststrecke: ca. 4°C $\Delta t$ Ende Teststrecke: ca. 4°C siehe Abbildung 6-47
Anmerkung	160 km/h: Einfluss durch Luftzug	
<b>SC S1</b>	<b>Einfluss Belüftung:</b> gering <b>MKK:</b> anfangs hoch, am Ende niedrig $\Delta t$ Beginn Teststrecke: ca. 1–3°C $\Delta t$ Ende Teststrecke: ca. 6–8°C	<b>Einfluss Belüftung:</b> deutliche Abkühlung bei 3 der 6 Sensoren, Abkühlung bis zu 3°C <b>MKK:</b> $\Delta t$ Beginn Teststrecke: ca. 4°C $\Delta t$ Ende Teststrecke: ca. 5°C siehe Abbildung 6-48
Anmerkung	160 km/h: zusätzlicher Abkühlungseffekt	
<b>SC C2</b>	<b>Einfluss Belüftung:</b> deutlich (bis zu 5°C) <b>MKK:</b> $\Delta t$ Beginn Teststrecke: ca. 2–3°C $\Delta t$ Ende Teststrecke: 5–7°C	<b>Einfluss Belüftung:</b> sehr schnelle Abkühlung von bis zu ca. 5°C <b>MKK:</b> $\Delta t$ Beginn Teststrecke: ca. 2°C $\Delta t$ Ende Teststrecke: max 5°C siehe Abbildung 6-49
Anmerkung	160 km/h: geringe zusätzliche Abkühlung	
<b>SC J1</b>	<b>Einfluss Belüftung:</b> Abkühlung v.a. durch Zugluft, Tendenz durch Öffnung der Belüftung beibehalten <b>MKK:</b> anfangs hoch, Ende der Testfahrt niedrig $\Delta t$ Beginn Teststrecke: ca. 2°C $\Delta t$ Ende Teststrecke: ca. 6–8°C	<b>Einfluss Belüftung:</b> deutlicher „Knick“ nach unten bei 4 der 6 Sensoren, Abkühlung von bis zu 3–5°C <b>MKK:</b> $\Delta t$ Beginn Teststrecke: <2°C $\Delta t$ Ende Teststrecke: max 6°C siehe Abbildung 6-50
Anmerkung	160 km/h: deutlicher zusätzlicher Abkühlungseffekt	
<b>SH XR</b>	<b>Einfluss Belüftung:</b> deutlicher Effekt <b>MKK:</b> $\Delta t$ Beginn Teststrecke: ca. 1–4°C $\Delta t$ Ende Teststrecke: ca. 5–10°C	<b>Einfluss Belüftung:</b> Abkühlung um max 4°C <b>MKK:</b> $\Delta t$ Beginn Teststrecke: ca. 3°C $\Delta t$ Ende Teststrecke: ca. 5°C siehe Abbildung 6-51
Anmerkung	160 km/h: zusätzlicher Abkühlungseffekt	
<b>LI BQ</b>	<b>Einfluss Belüftung:</b> kein Effekt <b>MKK:</b> $\Delta t$ Beginn Teststrecke: ca. 2°C $\Delta t$ Ende Teststrecke: ca. 2°C	<b>Einfluss Belüftung:</b> kein Effekt <b>MKK:</b> $\Delta t$ Beginn Teststrecke: <3°C $\Delta t$ Ende Teststrecke: ca. 5°C siehe Abbildung 6-52
Anmerkung	160 km/h: hoher Einfluss des Fahrtwinds	

Tabelle 6-4: Übersicht zum Temperaturverhalten der Projekthelme

#### 6.6.4 Einfluss der Farbgebung auf die Helmtemperaturen (Insolationsversuche)

Untersuchungsziel war der Einfluss von Art und Farbe der Helmlackierung auf die Helminnentemperatur. Hierbei wurden zum einen das Kriterium Außenschalenfarbe (silber, schwarz oder Colordesign), zum anderen das Kriterium der Oberflächenbeschaffenheit (glänzend bzw. matt; es kamen Helme mit Thermoplastischer und auch mit Duroplastischer Helmaußenschale zum Einsatz) einbezogen. Es wurden drei silberne Helme (2 × glänzend, 1 × matt), zwei schwarze (1 × glänzend, 1 × matt) sowie ein Colordesign Helm (Grundfarbe Gelb, glänzend) ausgewählt. Unter den Versuchshelmen befanden sich somit auch zwei Helme des gleichen Typs, jedoch unterschiedlicher Lackierung (1 × matt schwarz und 1 × glänzend silber).

Anhand dieser bis auf die Farbe der Lackierung identischen Helme wurde die Auswirkung der Farbgebung bei Strahlungswärme unter gleichen Bedingungen, direkt und ohne störende Einflüsse ermittelt.

Die Versuche wurden im Juli 2006 am frühen Nachmittag (13:00 bis 14:30 Uhr) auf dem Freigelände des Fachgebietes durchgeführt.

Die Wetterbedingungen waren hierbei: Sonnenschein bei unbedecktem Himmel und Windstille; die Lufttemperatur betrug im Mittel 29 °C bei einer relativen Luftfeuchte von 49%.

Die Temperaturmesssensoren waren jeweils im Helmdom mit ihrer messsensiblen Seite nach außen weisend – Richtung Helmschale – mittels Klebeband befestigt. Zusätzlich wurde ein Außensensor mit der messsensiblen Seite nach oben auf dem Untersuchungstisch angebracht. Die Helmschalentemperatur wurde berührungslos mit einem Infrarot- Thermometer gemessen.

An diesen sechs Projekthelmen (siehe nachfolgende Tabelle) wurden die Helminnentemperaturen über eine gesamte Zeitspanne von 90 Minuten in den nachfolgend beschriebenen Phasen gemessen.

Helm Nr.	Thermo-Sensor Nr.	Name	Bauart	Material Helmschale	Lackierung	Max Temp. Außen, °C	Max Temp. Innen, °C
1	1	LI BQ	Integral	Thermoplast	Gelb, glänzend	59,5	42,7
2	2	NO N8	Integral	Thermoplast	Silber, glänzend	57,5	42,7
3	3	SC S1	Integral	Duroplast	Schwarz, matt	86,5	47
4	4	SC S1	Integral	Duroplast	Silber, glänzend	57,5	42,5
5	5	SH XR	Integral	Duroplast	Schwarz, glänzend	86,0	48,1
6	6	UV BO	Integral	Thermoplast	Silber, matt	59,0	42,2

Tabelle 6-5: Projekthelme Insolationsversuche

##### Versuchsphase I:

Die Projekthelme lagen über eine Zeitspanne von 30 Minuten im Schatten; währenddessen wurden mit Hilfe der 8-Kanal-Messkette die Helminnentemperatur mit einem Messzeitintervall von 2 sec. sowie die Helmaußenschaltemperatur alle 10 Minuten berührungslos erfasst und dokumentiert (Messmittel: Raytek Minitemp MT 2, Messbereich -18 bis 260 °C).

##### Versuchsphase II:

Die Helme wurden über eine Zeitspanne von 60 Minuten der direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt; die Messvorgänge wurden in gleicher Form durchgeführt wie unter Punkt 1.

Es wurde darauf geachtet, dass die Belüftung sowie das Visier sich im geschlossenen Zustand befanden. Die untere Helmöffnung wurde verschlossen, um einen Luftaustausch mit der Außenluft weitestgehend auszuschließen. Der Helminnenraum wurde mit Zeitungspapier mittelfest verdämmt.



Abbildung 6-54: Projekthelme im Insulationsversuch

Ergebnisse der Messungen:

Die Außentemperatur (Referenzsensor, rosa durchgezogene Linie) lag zu Beginn des Versuchs bei 29°C, in Phase II mit direkter Sonneneinstrahlung stieg die Temperatur bis auf über 60°C an.

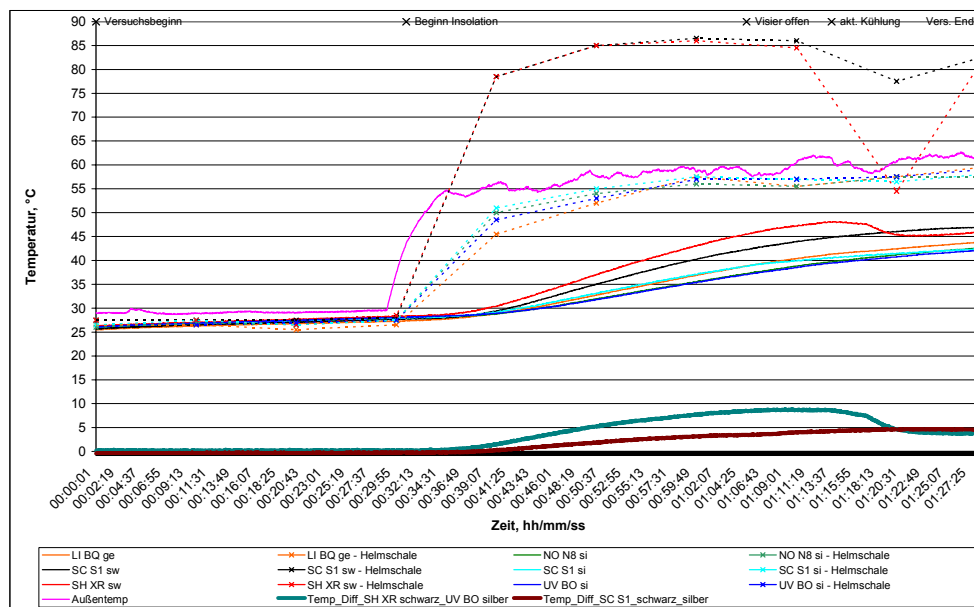


Abbildung 6-55: Temperaturverlauf statische Insulationsversuche

Die Helmaußenschaltemperaturen (gestrichelte Linien) lagen zu Versuchsbeginn zwischen 26°C (NO N8 si) und 27,5 °C (SC S1 sw). Am Ende der Versuchsphase I – nach 30 Minuten – lagen die Messwerte dieser beiden Helme bei 27,5 °C (NO N8 si) und 28 °C (SC S1 sw).

Am Ende von Phase I des Versuchs (Schattenphase) lagen die Temperaturen in den Helmen (durchgezogene Linien) zwischen einem Minimum von 27,4 °C (LI BQ ge ) und einem Maximum von 28,4 °C (SH XR sw). Die Helminnentemperaturen der Projekthelme variierten am Ende der Versuchsphase I um maximal 1°C.

Bis zum Ende der Versuchsphase I – Schattenphase – konnte kein Zusammenhang zwischen der Farbe der Helme und der Innentemperatur erkannt werden.

Die an den Außenschalen der schwarzen Helme gemessenen Temperaturen zeigten während der Versuchsphase II Werte bis zu 86°C (SH XR) zur gleichen Zeit wurde an einem silber-

bern lackierten Helm (NO N8) Helmschalentemperaturen von 56 °C gemessen, was einer Temperaturdifferenz von 30°C entspricht.

Die im Innern der Helme maximal gemessenen Temperaturwerte lagen bei einem schwarz glänzend lackierten Versuchshelm bei 48,1 °C (SH XR), zur gleichen Zeit wurde an einem silbern glänzend lackierten Helm (NO N8) eine um 8,5 °C niedrigere Temperatur von 39,6°C ermittelt.

Die schwarzen Helme zeigten sowohl bei den Helminnentemperaturen als auch bei den Temperaturen der Helmaußenschalen deutlich höhere Werte als die silbernen bzw. gelb lackierten Vergleichshelme. Letztere lagen sowohl bei den Helmaußenschalentemperaturen als auch bei den Helminnentemperaturen relativ eng beieinander und deutlich unter denjenigen der schwarzen Vergleichshelme.

Das alleinige Öffnen des Visieres bewirkte – nicht zuletzt aufgrund der Papierdämmung des Helmes und fehlender Windeinwirkung – keinen deutlichen Abkühlungseffekt.

Im Gegensatz dazu zeigte das „Anblasen“ (Konvektionskühlung) eines der Projekthelme mit Kaltluft – SH XR – innerhalb einer Zeitspanne von 3 Minuten einen deutlichen Temperaturrückgang sowohl an der Helmaußenschale (Temperaturrückgang von 30°C) als auch im Helminnen (Temperaturrückgang von 3°C).

Bei der oben wiedergebenden Abbildung ist darauf zu achten, dass der erwähnte Temperaturrückgang der Außenschale aufgrund der Gebläsekühlung eine zeitliche Verschiebung bzw. Ausdehnung zeigt, die der Realität nicht entspricht, da die Temperatur der Helmaußenschale nur alle 10 Minuten gemessen wurde, das Gebläse jedoch nur für die Dauer von 3 Minuten zum Einsatz kam. Somit täuscht der frühzeitige „Temperaturknick“ einen Temperaturrückgang vor, der erst zu einem später liegenden Zeitpunkt einsetzte.

Neben den erhobenen Daten zum Temperaturverlauf innerhalb und außerhalb der Projekthelme sind in der vorstehenden Abbildung zwei weitere Kurvenverläufe wiedergegeben, die die Helminnentemperaturdifferenzen verschiedener Helme erfassen.

Zwischen dem Versuchshelm mit der höchsten Temperatur (SH XR sw) und dem Versuchshelm mit der geringsten Temperatur (UV BO si) war eine maximale Temperaturdifferenz von bis zu 8°C zu ermitteln (dicke grüne Kurve).

Die Innentemperaturdifferenz der beiden, bis auf die Farbgebung der Außenschale identischen Projekthelme (SC S1 sw.; SC S1 si) zeigt einen Wert von 5°C (dicke braune Kurve).



### 6.6.5 Zusammenfassung Temperaturmessungen

Die nachfolgend wiedergegebenen Ergebnisse wurden unter Einsatz von sechs Temperatursensoren am Kopf sowie einem siebten Temperatursensor als Referenzwertgeber (Außentemperatur) ermittelt.

Bei fünf der untersuchten Projekthelme konnte die Funktion eines regelbaren Belüftungssystems durch einen deutlichen Einfluss auf die Helminnentemperatur nachgewiesen werden.

Bei fünf weiteren Helmen konnte mit dem angewendeten Messverfahren die Funktion einer verstellbaren Belüftung nicht nachgewiesen werden.

Ein Crosshelm und ein Jethelm blieben bei abschließenden Aussagen unberücksichtigt.

Bei den Temperaturmessungen ergaben sich bezogen auf die oben erst genannten fünf Helme je nach Position der Temperatursensoren Helminnentemperaturen im Bereich von 28°C bis maximal 37°C, bei Außentemperaturen von ca. 20°C +/- 4°C.

Bei diesen Helmen konnte nach Öffnen der Belüftung Temperaturabnahmen von bis zu ca. 5°C innerhalb von drei Minuten registriert werden, wobei ein gewisser Einfluss der Position der Temperatursensoren eingeräumt werden muss. Während der Standphase bei den Fahrversuchen stiegen diese Temperaturwerte innerhalb der gleichen Zeit wieder um ca. 3 bis 5°C an (siehe z.B. Abbildung 6-49).

Bei der Ermittlung des Ansprechverhaltens der Temperatursensoren im Laborversuch stellte sich die gemessene Helminnentemperatur nach 20 Minuten bei ca. 37°C ein, bei einer Raumtemperatur von 23°C (siehe Abbildung 6-37).

Bezogen auf die Außentemperaturen, die in den systematischen Fahrversuchen auftraten, ist festzustellen, dass bei Helmen mit funktionierend einstellbarer Belüftungseinrichtung für den Helmträger eine physiologisch angenehme Situation erreicht wurde.

Bei der Projektbearbeitung wurde auffällig, dass die grundsätzliche Funktion und die Effizienz von Belüftungssystemen in Motorradhelmen durch folgende Gestaltungsfehler beeinträchtigt werden können:

- luftundurchlässige Komfortpolsterungen und / oder Schaumstoffeinlagen im Helmdom
- nachlässige Konstruktion und Fertigung von Belüftungsöffnungen der Helmschale, die nicht mit den daran anschließenden Belüftungskanälen der Schutzpolsterung korrespondierten
- ungünstige Passform und unzulänglicher Formschluss der Komfortpolsterung
- fehlende Abdichtungen am Übergang von Belüftungsbohrungen der Helmschale und Belüftungskanälen der Schutzpolsterung

In Einzelfällen haben sich auch aufwändig gestaltete Belüftungssysteme als ineffizient erwiesen. Andererseits sind offensichtlich Helme am Markt (auch unter den Projekthelmen), die zwar Bedienelemente zur Betätigung einer Belüftungseinrichtung aufweisen, bei denen es sich jedoch nur um Bedienelemente mit „Scheinfunktion“ (Placeboschieber) handelt.

Als Einfluss der Helmaußenfarbe auf die Helmtemperatur (Insulationsversuch) wurde zusammengefasst erkennbar, dass die Lackierung der Helmaußenschale im ungünstigsten Fall (schwarz, glänzend oder matt) bei Werten bis zu 86°C und somit im Verhältnis zu einer geeigneten Lackierung (Silber, helle Farbgebung) zu Temperaturunterschieden an der Helmoberfläche von bis zu ca. 30 °C führt.

Dieses absorbierende oder reflektierende Strahlungswärmeverhalten schlägt ohne vorhandene Konvektionskühlung in das Helminnere bei Temperaturunterschieden in einer Größenordnung von 8 °C - nicht ausschließbar auch höher - durch.

## 7 DISKUSSION

Es wurden Ergebnisse aus den Untersuchungsfeldern Aeroakustik, Aerodynamik, Temperaturverhalten und psychophysiologische Messungen erarbeitet.

Aus der Gesamtheit der psychophysiologischen Messungen werden die Ergebnisse, die sich auf die Feststellungen der Muskelaktivitäten (elektromyographische Messwerte (EMG)) beziehen innerhalb des Abschnittes „Aerodynamik“ und die Ergebnisse, die sich auf die Ermittlung von Temperaturwerten am Kopf unter dem getragenen Helm beziehen innerhalb des Abschnittes „Temperaturverhalten und Belüftungssysteme“ behandelt.

Der grundsätzliche methodische Ansatz bestand in der Durchführung von vergleichbaren und sich ergänzenden Untersuchungsreihen in den o. g. Untersuchungsfeldern, erweitert durch psychophysiologische Messungen, die einerseits als Laborversuche in einem geeigneten Windkanal und andererseits in angepasster Form vorbereiteter Messfahrten (systematische Fahrversuche) erfolgten. Wesentlich bei der Durchführung der Untersuchungen war die Gewährleistung der Vergleichbarkeit von Messungen, die zuerst im Windkanal und anschließend bei den Fahrversuchen unter realitätsnahen und vergleichbaren Bedingungen erfolgten.

Die Windkanalversuche haben im Gegensatz zu den systematischen Versuchen den Vorteil, dass Variable wie Geschwindigkeit gut konstant gehalten und störende Einflüsse wie Seitenwind und Luftverwirbelungen ausgeschlossen werden können. Zudem können sich die Versuchspersonen ganz auf den Versuchsablauf konzentrieren, so dass die Zeiten, Markertätigkeiten und Kopfpositionen zuverlässig absolviert wurden. Durch diese Laborbedingungen konnte die Reproduzierbarkeit der Messungen gesteigert werden.

Bei Planung und Durchführung der Untersuchungen wurde vor allem darauf geachtet, die interessierenden Parameter möglichst isoliert von unerwünschten Störgrößen und von weiteren nicht interessierenden Variablen zu erfassen. Aus diesem Grunde kam bei der Untersuchung im Wesentlichen ein unverkleidetes Motorrad der Mittelklasse (650 ccm) mit ABS zum Einsatz; bei einer ergänzenden Untersuchungsreihe wurde das gleiche Motorrad, jedoch mit rahmenfester Teilverkleidung, eingesetzt.

Sowohl bei der Durchführung der Windkanalversuche als auch der Messfahrten variierte die Sitzposition sowie die Kopfposition der auch hinsichtlich repräsentativer Körpermaße ausgewählten Versuchspersonen bei den Messungen um eine Neutralposition, sodass das Verhalten des Helmes in Abhängigkeit definierter Änderungen der Sitz- und Kopfposition möglichst umfassend beschrieben werden konnte.

Bei der Projektbearbeitung zeigte sich, dass der Braunschweiger Windkanal (Fa. Schubert Engineering) wegen seines geringen Eigengeräusches von 55 dB(A) bei 100 km/h und seines in der Messstrecke großzügig dimensionierten Querschnittes von 1 x 1 m gut geeignet war, die geplanten Versuche durchzuführen.

Windkanäle zur Entwicklung von Motorradschutzhelmen sind in ihrer Ausführung nicht genormt, sodass davon auszugehen ist, dass in unterschiedlichen einschlägigen Windkanälen bei gleichartigen Messungen Toleranzen zu erwarten sind.

Nachfolgend werden die wesentlichen Ergebnisse aus den oben genannten Untersuchungsfeldern und damit zusammenhängende Feststellungen diskutiert.

## 7.1 Aeroakustik

Die Messwerte der Versuchspersonen lagen unabhängig von den Versuchsgeschwindigkeiten bei den systematischen Fahrversuchen bei fast allen Projekthelmen über den im Windkanal ermittelten Werten. Eine mögliche Erklärung dieser Beobachtung ist, dass bei den systematischen Fahrversuchen verkehrs- bzw. fahrbedingte Änderungen der Kopfposition, wie z. B. beim Blick zum Spiegel oder über die Schultern vorgenommen werden müssen, was eine ungünstigere Anströmung des Helmes und somit eine Vergrößerung des Schalldruckpegels im Helm bewirkt.

Das Motorengeräusch des Projektmotorrads dürfte als Erklärung für die höheren Schalldruckpegel bei den systematischen Fahrversuchen weitgehend auszuschließen sein.

Unter anderem berichtet Hüttenbrink (1982), dass das Motorengeräusch ab Geschwindigkeiten von ca. 130 km/h keinen Einfluss auf die gemessenen Schalldruckpegel hat; Harrison (1974) sieht ab 64 km/h keinen wesentlichen Einfluss des Motorengeräuschs auf die Schalldruckpegelmessungen. Lower M.C. et al. (1994 und 1996) sehen diese Grenze bei 70 km/h.

Die Auswertung der aeroakustischen Messungen zeigte generell, dass bereits bei der Versuchsgeschwindigkeit von 120 km/h die gemittelten Schalldruckpegel der drei Versuchspersonen für die Projekthelme zwischen 88 und 105 dB(A) lagen.

Entsprechende Werte bei der Versuchsgeschwindigkeit von 160 km/h wurden zwischen 93 und 109 dB(A), in Einzelfällen bis zu 110 dB(A) registriert.

Dies verdeutlicht, dass Motorradfahrer insbesondere bei höheren und hohen Fahrgeschwindigkeiten (ab ca. 130 km/h) je nach Konstellation (Motorradtyp) einer Geräuschexposition unterliegen, die nach den etablierten Wertegrenzen der physiologischen Verträglichkeit mit einer mehr oder weniger ausgeprägten Gefahr der Gehörschädigung verbunden ist.

Bei der Beurteilung der gemessenen Schalldruckpegel ist generell die Expositionsdauer zu berücksichtigen. Ohne Angabe einer Expositionsdauer wird der Bereich oberhalb von 85 Dezibel generell als Gehör gefährdend angesehen (Deutscher Ärztetag, 2000).

Bis 89 dB(A) ist erst nach langen Expositionszeiten mit Gehörschädigungen zu rechnen. Oberhalb von 94 dB(A) besteht bereits ein hohes Gehörschadensrisiko (Bundesärztekammer 1999). Tragepflicht für Gehörschutz besteht laut EG Richtlinie 2003/10/EG ab 85 dB(A) als Tagesexpositionswert. Einige Autoren (u. a. Ross 1989) empfehlen generell ab Schalldruckpegeln oberhalb 90 dB(A) das Tragen von Gehörschutz.

Selbst der „beste“ untersuchte Helm ist mit einem gemessenen Schalldruckpegel von knapp 90 dB(A) bereits bei 120 km/h in einem Bereich, der bei langjähriger Exposition zu einer bleibenden Hörschwellenverschiebung führen kann. Dagegen ist der höchste gemessene Schalldruckpegel von 102 dB(A), bei dieser Geschwindigkeit, gemäß der Unfallverhütungsvorschrift BGV B3 bei einer täglichen Expositionsdauer von mehr als 14 Minuten schon in einem Bereich, in dem Gehörschäden zu erwarten sind.

Ein Schalldruckpegel von 110 dB(A) liegt deutlich im Gehör schädigenden Bereich (Deutscher Ärztetag, 2000). Mc Combe bewertet einen Schalldruckpegel von 110 dB(A) bei einer Expositionszeit von nicht mehr als drei Minuten als unbedenklich.

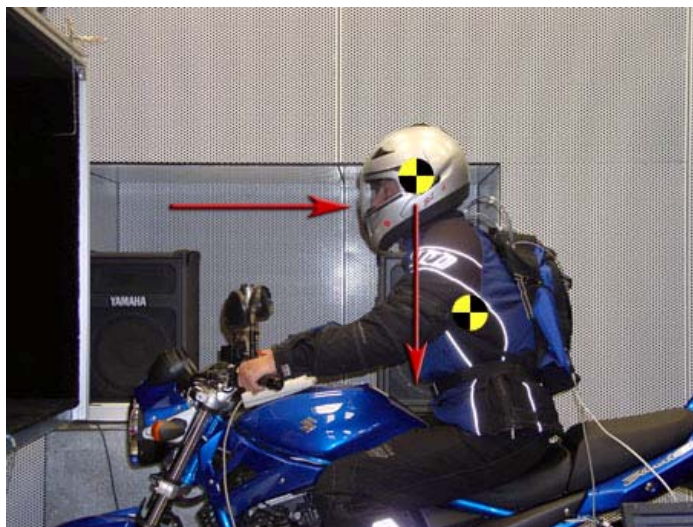
Neben den Gehör schädigenden Lärmwirkungen sind psychische und psychisch-vegetative Wirkungen des Lärms bekannt (Fachausschuss Maschinenbau, Fertigungssysteme, Stahlbau, 2005); diese können sich nachteilig auf die Konzentration und das mentale Befinden und somit auf die Fahrsicherheit bei Motorradfahrern auswirken.

Aus diesen Ergebnissen ist eine zumindest eine dringende Empfehlung der Benutzung von Gehörschutz abzuleiten, aber auch die Forderung an die Hersteller und Vertreiber von Motorradschutzhelmen, in Zukunft leisere Helme zu entwickeln, bzw. in den Handel zu bringen.

## 7.2 Aerodynamik

Nachfolgend werden die Ergebnisse aus dem Untersuchungsfeld Aerodynamik vorgestellt, wobei zunächst einige grundsätzliche Ausführungen zu den am Helm angreifenden Kräften erfolgen. Anschließend werden die Ergebnisse des Kraftmessroboters, der EMG Messungen und vergleichende Aspekte diskutiert.

Nennenswerte Kräfte, die am Helm angreifen, treten unter der hier dargestellten Versuchskonfiguration erst bei der Versuchsgeschwindigkeit von 160 km/h auf. Unterhalb dieser Geschwindigkeit werden die Windkräfte schnell geringer; bei ca. 100 km/h kann je nach Kopf- und Oberkörperposition und weiteren Konstellationen der Bereich eines Gleichgewichtszustandes vorliegen, indem sich die Widerstandskraft (infolge Fahrtwind), die Auftriebskraft und die Massenkraft (Kopf, Helm) gegeneinander aufheben und so die im Halswirbelsäulenbereich wirksamen Kräfte und Momente sehr gering werden.



$F_W$  = Widerstandskraft durch aerodynamische Verhältnisse am Helm

$F_G$  = Gewichtskraft durch Helmmasse

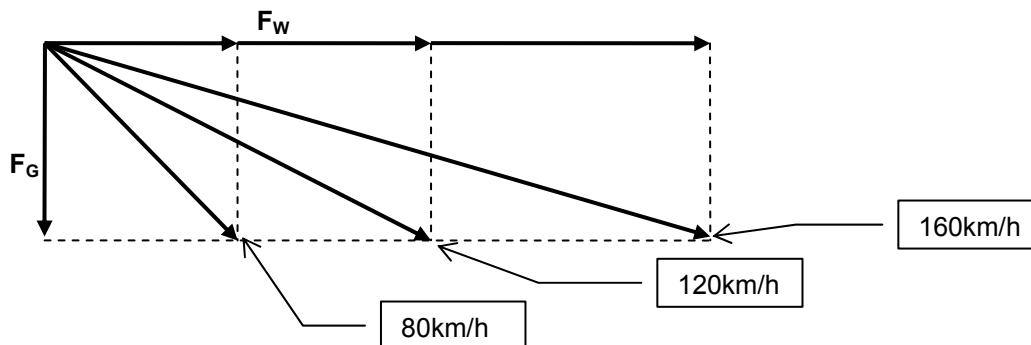


Abbildung 7-1:  $V_p$  im Windkanal mit Darstellung Windkraft und Gewichtskraft am Helm

### Kraftmessroboter

Durch die aerodynamischen Messungen mittels des Kraftmessroboters im Windkanal wurden für jeden der Projekthelme bei den Geschwindigkeiten 80, 120 und 160 km/h Kräfte in den drei Richtungen (x, y und z) gewonnen.

Die Kräfte werden durch die Gesamtkraft, bzw. deren Komponenten Widerstandskraft (x-Richtung), Auftriebskraft (z-Richtung), Seitenkraft (y-Richtung) beschrieben.

Der computergesteuerte Kraftmessroboter nahm bei jeder Geschwindigkeit insgesamt 8 unterschiedliche Kopfpositionen ein, damit eine Bewertung zum Verhalten des Helmes auch in angehobener Kopfposition, bzw. bei Kopfdrehung (sog. Spiegelblick) vorgenommen werden konnte.

Eine Bewertung der Gesamtkraft erscheint allenfalls über deren Höhe sinnvoll; wesentlich sind die Ausprägungen deren Komponenten. Die Bewertung der Komponenten der Gesamtkraft in x (Widerstandskraft), in y (Querkräft) und z (Auftriebskräft) scheint wie folgt gerechtfertigt:

Wesentlich ist eine Ausgewogenheit zwischen Widerstandskraft und Auftriebskräft; diese ist unter anderem fahrzeug- (verkleidungs-) abhängig und kann auch durch die Körper- bzw. Kopfposition des Fahrers beeinflusst werden.

Ausgeprägte Querkräft-Differenz-Werte können zu einem unangenehmen, unvermittelt einsetzenden, seitlichen Kopfversatz führen.

Die **Widerstandskraft** liegt bei der Versuchsgeschwindigkeit von 160 km/h bei der hier untersuchten Auswahl der Projekthelme zwischen 29 und 40 N.

Während erwartungsgemäß der für diese Geschwindigkeiten nicht konstruierte Crosshelm den Maximalwert aufwies, brachten aber auch Helme der unteren Preisklasse Werte von ca. 37 N und ein untersuchter Projekthelm der oberen Preisklasse einen Wert von 35 N.

Die **Auftriebskräft**, die eher gering oder negativ sein sollte (z. B. Berge 1987, Hertneck 2005), liegt bei der Auswahl der Projekthelme zwischen 13 und 28 N.

Hier hat der „geschlossene“ Jethelm mit seinem in die Helmkontur integrierten Visier den geringsten Wert von 13 N und ein Integralhelm mit 28 N den höchsten Wert; dieser Helm liegt damit noch vor dem Crosshelm, der einen Wert von 25 N aufweist.

Die **Seitenkräft** erhöht sich insbesondere beim Spiegelblick. Die Mittelung der Werte von Spiegelblick „links“ und Spiegelblick „rechts“ wird als Querkräftdifferenz bezeichnet, die bei der untersuchten Projekthelmauswahl zwischen 25 und 37 N liegt.

Bei der Gesamtheit der untersuchten Projekthelme wurden **Gesamtkräfte** im Wertebereich zwischen 38 und 52 N ermittelt.

Die am Kraftmessroboter ermittelte Gesamtkräft und deren Komponenten sind in Abbildung 7-2 wiedergegeben, wobei die Rangfolge nach dem Wert der Widerstandskraft geordnet ist.

Unter den Helmen mit den vier höchsten Widerstandskräften finden sich zunächst erwartungsgemäß der ‚konventionelle‘ Jethelm und der Crosshelm, aber auch ein Integralhelm und ein Klapphelm. Insgesamt unterscheiden sich der beste und der schlechteste Helm hinsichtlich der Widerstandskraft um 11 N. Der beste Helm hebt sich mit 3 N Vorsprung ab. Im „Mittelfeld“ beträgt der maximale Unterschied 5 N.

Die ausgeprägte Komponente ist die Auftriebskräft mit einer Spannweite von 15 N.

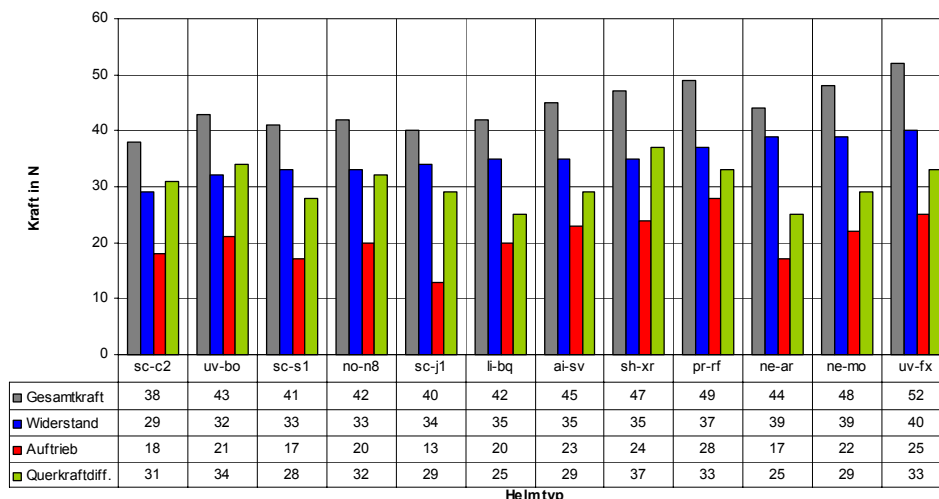


Abbildung 7-2: Kräftmessroboter bei 160 km/h; angeordnet nach Widerstandskraft

Die von Van Faassen (1979) durchgeführten Messungen zur Ermittlung der Widerstandskraft am Kopf sind in der Größenordnung ähnlich (von 31,4 bis 39,6 N), wenn auch etwas geringer, da diese bei einer Geschwindigkeit von 144 km/h gemessen wurde. In der gleichen Untersuchung wurde auch die maximale Haltekraft von Frauen und Männern ermittelt (140 und 225 N). Diese Werte liegen weit über den im Rahmen der Projektbearbeitung ermittelten Widerstandskräften.

Wesentlich im Praxisbetrieb ist unter anderem, dass die entsprechenden Kraftkomponenten eines Helmes bei Veränderung der Kopfposition keine sprunghaften Änderungen aufweisen, die die Sicherheit beim Fahren eines Motorrades beeinträchtigen könnten.

Eine allgemeine Beobachtung während der systematischen Fahrversuche ließ erkennen, dass im Fall zu groß gewählter Helme mit schlechter Passform und / oder nicht stramm verschlossener Trageeinrichtung bei höheren Geschwindigkeiten (ab ca. 130 km/h) mehr oder weniger ausgeprägte Rüttelschwingungen eintreten können mit der Folge von Sichtbeeinträchtigungen.

### Kraftmesshelm

Die Messungen mittels des Kraftmesshelmes ergaben bei den Widerstandskräften Messwerte, die vergleichbar sind mit den Messwerten des Kraftmessroboters, weshalb eine vergleichende Betrachtung von Werten des Kraftmesshelmes mit den Werten der EMG Messung (siehe unten) sinnvoll erscheint.

### EMG

Die Auswertung der EMG Messwerte bezog sich hauptsächlich auf die Geschwindigkeit von 160 km/h, da unterhalb dieser Geschwindigkeit (bei einer Versuchsgeschwindigkeit von 120 km/h), die aufzubringenden Kräfte, bzw. EMG Messwerte zu gering waren.

Während bei den Windkanalversuchen die Geschwindigkeit exakt eingehalten werden konnte, waren die Messwerte bei den systematischen Fahrversuchen mit gewissen Toleranzen der vorgegebenen Fahrgeschwindigkeit behaftet; ferner konnten sich die Vpn bei den Windkanalversuchen besser auf den Versuchsablauf konzentrieren und Einflüsse wie Seitenwind oder Windverwirbelungen von vorausfahrenden Fahrzeugen konnten ausgeschlossen werden. Andererseits variieren bei den Windkanalversuchen die Kopfpositionen von Helm zu Helm in gewissem Umfang, da als Referenzpunkte Markierungen dienten, die von den Vpn mit dem Blick fixiert werden mussten.

Bei den interindividuellen Messungen wurde je nach Versuchsperson nur ein Teil des zur Verfügung stehenden Anzeigebereiches genutzt. Diese Schwankungen resultieren u. a. aus der örtlichen Anordnung und der Beschaffenheit (Leitfähigkeit) der Gewebeanteile zwischen Signalquelle (Muskel) und der Elektrode. Die Wahl des Messbereiches (Auflösung des A/D Wandlers) und die Bemessung der Skalierung sind zur weiteren Bearbeitung der Messung ebenfalls von Bedeutung.

Insgesamt führte dies zu zahlenmäßigen Ergebnissen, die zwischen 6 und 100  $\mu\text{V}$  rms lagen. Die Untersuchung ließ qualitative Aussagen zu und es konnten aerodynamisch gute Helme (Integralhelme der gehobenen Preisklasse) und ungünstige Helme (z. B. Crosshelme) unterschieden werden.

### Bewertung der Projekthelme mittels EMG Messung im Windkanal

In der Abbildung 7-3 sind die Rangfolgen der einzelnen Vpn mit dem Mittelwert sowie den Maximal- und Minimalbewertungen dargestellt, um einen Überblick zur Gesamtbewertung und den dabei auftretenden Toleranzen geben zu können.

Aus den EMG Messwerten wurde für jede Vp eine Rangliste von 1 (geringe Muskelaktivität) bis 12 (hohe Muskelaktivität) zu den Helmen erstellt. Aus diesen drei Ranglisten ergeben sich die in Abbildung 7-3 dargestellten Mittelwerte und Spannweiten.

Es ist zu erkennen, dass Helme mit sehr hoher und sehr niedriger evozierender Muskelaktivität, trotz großer Spannweiten der Werte der drei Versuchspersonen, relativ zuverlässig identifiziert werden konnten. Das mittlere Feld der Helme unterliegt jedoch hohen Spannweiten und die durchgeführten Messungen scheinen nicht sensibel genug zu sein, um Helme mit derartig geringen aerodynamischen Unterschieden, wie vorliegend zuverlässig zu unterscheiden.

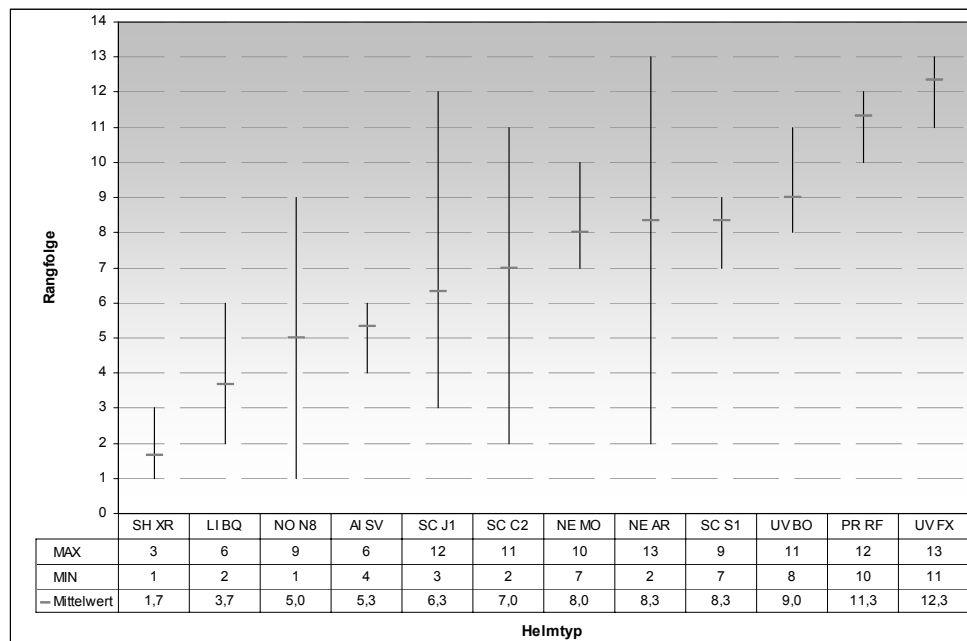


Abbildung 7-3: Rangfolge der EMG Messung bei 160 km/h aller Vpn

### Vergleich Kraftmessroboter und EMG

Eine Rangfolge der Helme, die sich aus den Ergebnissen der EMG Messung ergibt, stimmt nur zum Teil mit der Rangfolge, die sich aus den Widerstandskräften des Kraftmessroboters ergibt, überein. Die mit dem Kraftmessroboter ermittelten Werte für die Kräfte der drei Komponenten geben nicht die physiologischen Gegebenheiten wieder. Im Gegensatz hierzu ermöglichen EMG Messungen Aussagen zur Aktivität des hauptsächlich beanspruchten Muskels (Musculus sternocleidomastoideus), die die tatsächliche Beanspruchung des Helmträgers zum Ausdruck bringen.

Weitere Untersuchungen bieten sich hier insbesondere unter Einbeziehung der gemessenen Halsmomente an.

### Vergleich Kraftmesswerten (Kraftmesshelme) mit EMG Messwerten

Die nachfolgende Abbildung 7-4 zeigt die Messdaten eines geeigneten Samples von EMG-Messungen zusammen mit den Messdaten des Kraftmesshelmes. Es ist der Versuchsablauf bei 160 km/h mit den 5 Kopfpositionen aufgetragen (siehe auch Kap. 5.1.2.4). Die EMG Werte in  $\mu\text{V rms}$  sind auf der linken Ordinate aufgetragen, die Kraft in N auf der rechten Ordinate. Die blaue Punktwolke stellt die Kraft in x-Richtung dar (Widerstandskraft; 100 Hz), die schwarze Punktwolke die Gesamtkraft (vektorielle Addition von x-, y- und z-Rtg; 100 Hz) und die gelbe Punktwolke die EMG-Messwerte gemessen am linken Musculus sternocleidomastoideus (10 Hz). Zusätzlich zu den EMG-Messwerten ist ein gleitender Durchschnitt eingezeichnet (berechnet über den letzten 40 Messwerten) und der Medianwert der jeweiligen Phase.

Die Auftriebskräfte und die Querkräfte wurden zur besseren Übersichtlichkeit nicht eingezeichnet.

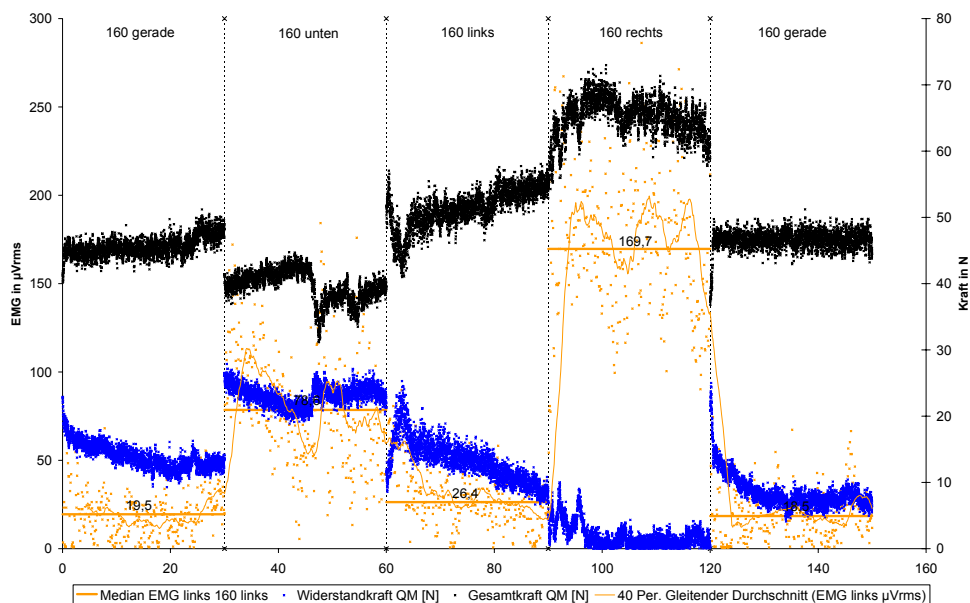


Abbildung 7-4: EMG Messung linker Muskel, VP II vs. Kraftmessung

Die EMG Werte, die in den Versuchen am Musculus sternocleidomastoideus gemessen wurden, entsprechen in etwa einer Resultierenden aus x- und z-Richtung, also einer Resultierenden aus Widerstands- und Auftriebskraft.

In der ersten Phase, 160 km/h Kopfposition gerade, liegt die Widerstandskraft (Kraft in x-Richtung) bei ca. 20 N. Die Gesamtkraft hat ein Niveau von fast 50 N, was durch die relativ hohen Auftriebskräfte erklärt werden kann (Helmgröße). Der EMG Wert liegt in dieser Phase bei ca. 20  $\mu\text{V rms}$ .

In der zweiten Phase, bei der die Kopfposition leicht nach unten gerichtet ist, nimmt die Widerstandskraft zu und die Gesamtkraft aufgrund geringer werdender Auftriebskräfte ab. In dieser Situation zeigt die EMG Messung eine stärkere Aktivierung des Muskels.

In der dritten Phase, in der die Kopfposition nach links gerichtet ist, erhöht sich die Gesamtkraft aufgrund des größeren Helmquerschnitts (Helmprojektion in Strömungsrichtung). Die Muskelaktivität nimmt bei einer Kopfdrehung nach links ab, da der linke Muskel hierbei weniger beansprucht wird.

Die vierte Phase sollte bei einer exakt spiegelbildlichen Kopfposition gleiche Werte für die Widerstandskraft und die Gesamtkraft liefern. Die EMG Werte steigen, da bei der Kopfdrehung nach rechts der linke Muskel besonders stark beansprucht wird.

Die fünfte Phase zeigt die Reproduzierbarkeit der Werte, da dies eine Wiederholung der ersten Kopfposition (gerade) ist.



### 7.3 Temperaturverhalten und Belüftungssysteme

In der Literatur sind verschiedene Untersuchungen zum Helmklima bei *Arbeitshelmen* zu finden; in diesen Arbeiten war neben der Erfassung der Temperaturen im Helm auch die Luftfeuchte unter dem Schutzhelm ein wesentlicher erhobener Parameter. Jung (1986) teilt hierzu mit, dass eine Bewertung des Tragekomforts hauptsächlich über die Luftfeuchte im Helm vorgenommen werden müsse, Temperaturdifferenzen (innen zu außen) seien hingegen nicht dazu geeignet den Tragekomfort von Arbeitsschutzhelmen, bei deren Nutzung körperliche Arbeit geleistet wird, zu beurteilen.

Bei der üblichen Nutzung von Motorradschutzhelmen ist davon auszugehen, dass körperliche Arbeit, die zu erhöhter Transpiration am Kopf führt, nur in Ausnahmefällen und im Rennsport geleistet wird. Es ist daher sinnvoll den Einfluss der Temperatur unter dem Helm infolge Sonneneinstrahlung und auch bei niedrigen Temperaturen zu untersuchen.

Zur Beurteilung der Helminnentemperatur wurden während der Versuche Temperaturmessungen durchgeführt, deren Untersuchungsschwerpunkt bei einer Fahrgeschwindigkeit von 80 km/h lag. Die Sensoren waren in stets gleicher Position an einer Netzkappe befestigt und hatten direkten Kontakt zur Kopfhaut, bzw. zu den Haaren.

Während bei den Windkanalversuchen und den systematischen Fahrversuchen Teil 1 drei Sensoren zur Erfassung der Helminnentemperatur eingesetzt wurden, kamen bei Teil 2 der systematischen Fahrversuche sechs Sensoren zum Einsatz. Zur Ermittlung der Referenztemperatur (Außentemperatur) wurde ein zusätzlicher Sensor eingesetzt.

Während der Versuche wurde die Helmbelüftung zu einem definierten Zeitpunkt geöffnet, damit Aussagen zur Funktion der Belüftung möglich waren. Für die Auswertung der Temperaturverläufe erfolgte neben deren Aufzeichnung eine deskriptive Darstellung.

Bei den Windkanalversuchen wurden Aussagen zur Funktion und Effizienz der Belüftung wegen des Temperaturanstiegs (von 25°C auf 35°C) im Luftstrom erschwert. Andererseits fiel auf, dass es bei einigen Helmen auch bei ansteigender Windkanaltemperatur nach Öffnen der Belüftung zu einem Abfall der Helminnentemperatur kam.

Auch bei den *systematischen Fahrversuchen, Teil 1* wurde wie bei den Windkanalversuchen die Helminnentemperatur zunächst nur an drei Stellen gemessen. Die Messergebnisse waren ähnlich denen der Windkanalversuche, wobei einzelne Sensoren während des Versuches Temperaturunterschiede bis zu 5°C aufwiesen; Grund hierfür waren örtliche Kühleffekte.

Die Außentemperatur war geringer (zwischen 15°C und 20°C) als im Windkanal, wodurch ein Temperaturabfall nach Öffnen der Belüftung besser identifiziert werden konnte. Auch hier stieg die Helminnentemperatur mit der Außentemperatur an.

Die *systematischen Fahrversuche, Teil 2* wurden nach den Erkenntnissen aus den Windkanalversuchen und den Fahrversuchen, Teil 1 mit sechs Helminnentempersensoren durchgeführt. Hierdurch wurde gewährleistet, dass ein aussagekräftigeres Temperaturprofil erarbeitet werden konnte. Um Temperaturänderungen über einen längeren Zeitraum beobachten zu können, war die Versuchsmethodik bei diesen Versuchen so ausgelegt, dass längere Expositionszeiten bei gleicher Geschwindigkeit erreicht wurden. Des Weiteren ließ eine Fahrtunterbrechung, vergleichbar mit einem längeren Ampelstopp, Aussagen zu fahrprofilbedingten Temperaturänderungen zu.

Die Auswertung der Temperaturmessdaten ergab, dass bei den durchgeführten Versuchen Helminnentemperaturen zwischen 20°C und 37°C und Außentemperaturen von 15°C bis 36°C auftraten.

Um Kopfhauttemperaturen von mehr als 37°C zu vermeiden, werden weitere physiologische Prozesse (Transpiration in Zusammenwirken mit Konvektionskühlung) aktiviert, die einen Wärmeaustausch ermöglichen. Die als komfortabel einzustufende Raumtemperatur liegt bei 24°C bis 27°C (Deetjen et al. 2005, S. 691). Nach eigenen Messungen liegt die Kopftemperatur im unbehelmteten Zustand bei einem Wert von ca. 33°C.

### Gesichtspunkte der Gestaltung von Belüftungssystemen

Generell ist eine Kühlung des Kopfes im Stand durch den Helm nicht gegeben, da nur durch einen Luftvolumenstrom eine Temperaturänderung im Helm möglich wird.

Nach Beurteilung der Messergebnisse und in Verbindung mit der Helmzerlegung, die Aufschluss über die verschiedenen Gestaltungsarten der Helmbelüftung ergab, können bezüglich des Belüftungsverhaltens von Helmen drei Ausprägungen unterschieden werden:

#### Ausprägung 1: Effiziente Belüftungseinrichtung, gezielte Volumenstromführung

Diese Helme erzielen mittels einer funktionierenden Belüftungseinrichtung, wenn auch nur partiell, Abkühlungseffekte, solange die Außentemperatur die Helminnentemperatur nicht übersteigt.

#### Ausprägung 2: Ineffiziente Belüftungseinrichtung, diffuser Volumenstrom

Diese Helme haben eine „Dauerbelüftung“, die zu Luftzirkulationen führt, wenn das Visier nicht abdichtet, die untere Helmöffnung weit ausgeschnitten ist und im Kinnbereich absteht und / oder die Komfortpolsterung im unteren Helmbereich nicht anliegt. Diese Eigenschaften können aber zu negativen Effekten, wie Windzug im Gesicht, Kälteempfinden, hohe Geräuschentwicklung u. a. führen.

#### Ausprägung 3: Ineffiziente Belüftungseinrichtung

Diese Helme weisen in stationärer Strömung bei geschlossenem Visier und geschlossener Belüftungseinrichtung nahezu keine oder eine nur sehr träge Temperaturveränderung auf.

Wenn ein Helm gut „abgedichtet“ ist (z. B. durch gute Passform, Abschluss der unteren Helmöffnung), muss die Belüftung so gestaltet sein, dass ein Volumenstrom in der Schädelskalotte und entlang des Visiers gewährleistet ist.

Helme aus den unteren Preiskategorien wiesen teilweise überhaupt keine Belüftungskanäle auf, obwohl entsprechende Lufthutzen und Verstellelemente angebracht waren. Bei der Helmuntersuchung zeigte sich auch, dass bei einigen Helmen Belüftungsöffnungen mit den Belüftungskanälen nicht korrespondierten, so dass eine effektive Belüftung ausgeschlossen werden kann. Teilweise haben sich auch aufwändig gestaltete Belüftungssysteme als nahezu unwirksam erwiesen.

Es zeigte sich, dass die Wirksamkeit einer Helmbelüftung durch direkt an der Außenschale im Windstrom angeordnete Lufthutzen erhöht werden kann. Ferner durch Belüftungskanäle, die auf direktem Weg zum Helminnenraum führen und Abdichtungen zwischen Helmaußenschale und Schutzpolsterung aufweisen, damit sich der Luftstrom nicht unkontrolliert verteilt. Zudem muss gewährleistet sein, dass die Komfortpolsterung in ihrer Art und Gestaltung den Luftstrom nicht behindert. Vorteilhaft sind so genannte „Kopfpads“, die dem Luftstrom genügend Raum zur gezielten Zirkulation geben.

Von einer Steigerung der Wirksamkeit der Belüftung durch einen Sogeffekt an Entlüftungsöffnungen der Helmrückseite kann ausgegangen werden; dieser Effekt konnte bei der Projektbearbeitung nicht nachgewiesen werden.

### Einfluss der Helmfarbe auf das Temperaturverhalten (Insolationsversuch)

Zur Untersuchung des Einflusses der Helmfarbe auf die Helmtemperatur wurden die in Abbildung 6-54 wiedergegebenen sechs Projekthelme, ausgestattet mit Temperatursensoren, gleichzeitig einer sommerlichen Sonneneinstrahlung ausgesetzt und die Helmtemperaturen an der Außenoberfläche sowie im Helminnenen während einer Expositionszeit von ca. 90 min gemessen und dokumentiert.

Als zusammenfassendes Ergebnis dieses Insolationsversuches war festzustellen, dass die Farbgebung der Helmaußenschale unter sommerlicher Sonneneinstrahlung in ungünstigen Fällen (schwarz glänzend oder matt) maximale Temperaturwerte von 87 °C bewirkte und

somit im Verhältnis zu einer geeigneten Farbgebung (silber, helle Farbe) zu einer Temperaturerhöhung an der Helmoberfläche von bis zu 30 °C führte.

Dieses absorbierende oder reflektierende Strahlungswärmeverhalten schlägt ohne vorhandene Konvektionskühlung in das Helminnere bei Temperaturunterschieden in maximaler Größenordnung von 8 °C oder darüber durch.

Dieser Sachverhalt kann bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten, Stopp and Go Betrieb, oder im Stau zu physiologisch ungünstigen Tragebedingungen für Motorradfahrern führen. Hieraus könnte zumindest die Empfehlung resultieren, Motorradhelme mit heller Außenlackierung (wärmestrahlungsreflektierend) zu benutzen. Eine derartige Farbgebung würde sich auch als vorteilhaft für die Erkennbarkeit von Motorradfahrern auswirken.

## 7.4 Psychophysiologische Messungen

Psychophysiologische Messungen umfassen die Ermittlung von Messwerten individueller Befindlichkeits- und Leistungsparameter (siehe auch Kapitel 4.3).

Im Einzelnen wurde dabei mit einem EMG die Muskelaktivität am Musculus sternocleidomastoideus erfasst und diente als Korrelat für die am Helm angreifenden Windkräfte (siehe Kapitel 7.2 Aerodynamik). Das EKG wurde in Form des R-Zacken Intervalls mit einer Nehb'schen Ableitung aufgezeichnet, woraus die Pulsfrequenz und die Sinusarrhythmie berechnet werden konnte. Die elektrodermale Aktivität wurde mithilfe zweier Elektroden unterhalb der Achselhöhle gemessen.

Alle Versuchspersonen wurden während der Windkanalversuche und Messfahrten diesen Untersuchungen unterzogen, wobei die EMG Messungen einen Schwerpunkt bildeten.

Die psychophysiologischen Messungen unterliegen in starkem Maße interindividuellen und auch intraindividuellen Ausprägungsunterschieden unter den innerhalb der Messreihen gegebenen Anfangs- und Randbedingungen.

Eine zur statistischen Absicherung von Versuchsergebnissen erforderliche Anzahl von Versuchspersonen konnte im gegebenen Projektrahmen nicht zum Einsatz kommen. Bei der Auswahl der Versuchspersonen wurde jedoch im Sinne eines repräsentativen Durchschnittes der Motorradfahrer/innen auf eine geeignete Zusammenstellung anthropometrischer Daten (Körpergröße, Körpermasse, Körperproportion) geachtet.

Nachfolgende Aussagen beziehen sich nur auf die Parameter, die nicht bereits in den Untersuchungsfeldern Aerodynamik sowie Temperaturverhalten / Belüftungssysteme behandelt wurden.

### Pulsfrequenz

Die Auswertung der Ergebnisse ergab, dass es zu einem Anstieg der Pulsfrequenz, bei höheren Versuchsgeschwindigkeiten kommt. Sowohl die Absolutwerte als auch die Differenzen zwischen den Geschwindigkeiten liegen abhängig von der Versuchsperson in unterschiedlichen Größenordnungen.

Insgesamt lagen die Pulsfrequenzen mit 76 bis 123 Schlägen pro min bei allen Versuchspersonen im physiologischen Bereich.

Beim Vergleich der Pulsfrequenz fiel auf, dass alle Versuchspersonen mit dem Crosshelm die höchsten Werte erreichten. Niedrige Pulsfrequenzen wurden größtenteils bei Helmen aus der oberen Preiskategorie gefunden. In einem Mittelfeld lagen interindividuell hohe Schwankungen vor, so dass hier keine gesicherten Aussagen zum Einfluss des Helmes auf die Pulsfrequenz gemacht werden konnten.

### Bewertung der Projekthelme mittels Pulsfrequenz im Windkanal

Eine Rangfolge der Versuchshelme, gebildet aus den Versuchsergebnissen der Pulsfrequenz, ist in Abbildung 7-5 dargestellt. Diese ist nach dem gleichen Schema aufgebaut, wie die Rangfolge für die EMG Messungen.

Hierzu wurde zunächst für jede Versuchsperson eine persönliche Rangfolge der Helme gebildet; der Helm mit dem niedrigsten Wert der Pulsfrequenz (Pulsfrequenz Median bei 160 km/h) erhielt Rang 1, der mit dem höchsten Wert entsprechend Rang 12. Jeder Helm bekam also von jeder Versuchsperson einen Rang bezüglich der Höhe der PF zugewiesen. Aus den drei Rangwerten eines jeden Projekthelmes wurde ein Mittelwert gebildet. In Abbildung 7-5 sind für jeden einzelnen Helm der Mittelwert sowie der höchste und niedrigste Rang dargestellt.

Alle drei Versuchspersonen hatten im Versuch mit dem Crosshelm, relativ zu ihrem persönlichen Pulsfrequenzbereich, eine hohe Pulsfrequenz. Dementsprechend findet sich der Helm in den persönlichen Rangfolgen auf den hinteren Rängen (8, 11 und 12; Mittelwert 10,3).

Auf der anderen Seite wurden bei allen Versuchspersonen in den Versuchsdurchgängen mit den Helmen LI BQ oder SC J1 relativ niedrige Pulsfrequenzen gemessen. Der Helm SC J1 lag bei den Versuchspersonen bezüglich der Pulsfrequenz auf den Rängen (1, 4 und 4; Mittelwert 2,7), der LI BQ auf den Rängen (1, 3 und 5; Mittelwert 3).

Zwischen diesen beiden Extremen befinden sich Helme deren Schwankungen zwischen den Versuchspersonen so hoch sind, dass hier keine gesicherten Aussagen zu dem Einfluss eines Helmes bzw. Helmtyps auf die Pulsfrequenz gemacht werden können.

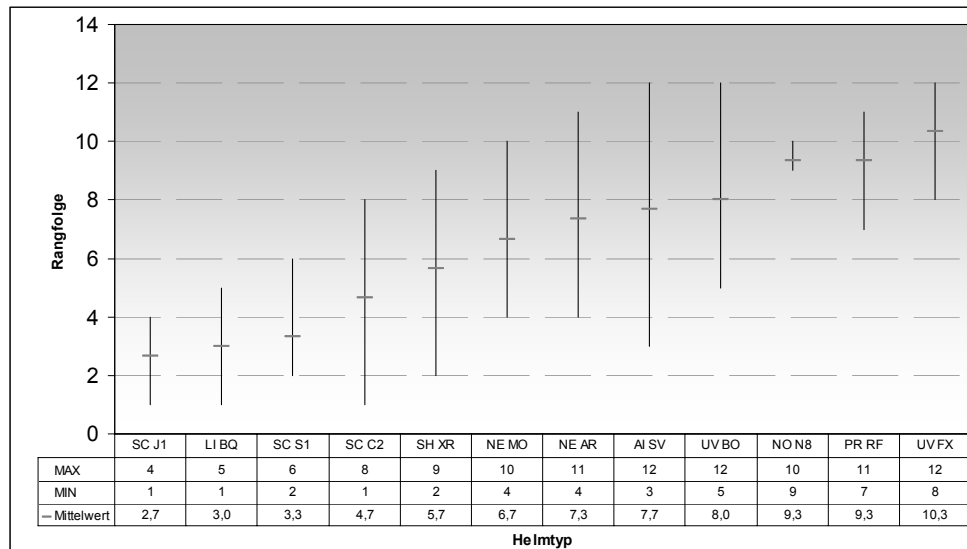


Abbildung 7-5: Rangfolge der Pulsfrequenz bei 160 km/h aller Vpn

### Sinusarrhythmie

Die Berechnung der Sinusarrhythmie ist empfindlich gegenüber Ausreißern und deren Filterung und Glättung, weshalb eine Ergebnisverfälschung jeweils zu überprüfen war.

Für eine systematische Auswertung der Sinusarrhythmie muss gewährleistet sein, dass alle R-Zacken eindeutig identifiziert werden können. Bei EKG-Messungen am Motorradaufsassen kann es zu einer Unterbrechung der Messwertermittlung kommen, die zwar eine Auswertung der Pulsfrequenz nicht behindern, aber bei der Berechnung der Sinusarrhythmie zu Schwierigkeiten führen können.

Teilweise konnte bei höheren Geschwindigkeiten eine niedrigere Sinusarrhythmie nachgewiesen werden, die einen Hinweis auf eine erhöhte mentale Belastung darstellt.

Im Rahmen der Projektbearbeitung wurde dieser Zusammenhang als Qualitätsmerkmal für Helme verworfen.

### Elektrodermale Aktivität

Die Messung der elektrodermalen Aktivität des Motorradaufsassen hat sich als sehr anspruchsvoll dargestellt, da die palmare oder plantare Messung mit der angewendeten Messtechnik nicht möglich war. Die Hautleitfähigkeitsreaktionen können bei der hier durchgeführten Messmethode (unterhalb der Achselhöhle) nur unvollständig dargestellt werden und ließen keine weiteren Schlussfolgerungen auf helmspezifische Unterscheidungsmerkmale zu.

Eine palmare Ableitung sowie eine höhere Abtastrate (10Hz) könnten weitere Kenntnisse bringen.

## 7.5 Verbraucherhinweise

### Verbraucherhinweise zur aktiven Helmsicherheit bei Kauf und Nutzung von Motorradhelmen

- Typprüfung entsprechend ECE-R 22 in der aktuellen Fassung
- Helmgröße und Passform (sorgfältige Anprobe; wenn möglich Probefahrt)
- Auswahl entsprechend eigenem Einsatzbereich (z. B. Sport, Touren, Enduro)
- Ergonomie – Bedienbarkeit von Kinnriemenverschluss, Visier und Lüftungsbetätigung (mit Handschuhen)
- Helmäußeres hell und auffällig; reflektierende Sicherheitsaufkleber
- Helltransparentes Visier mit erkennbar guter Abdichtung und artikulierter Rasterung (Visiertönung vermeiden; wenn, dann schwenkbare Sonnenblende)
- Trageeinrichtung ordnungsgemäß verschließen; strammer jedoch bequemer Sitz
- Ggf. Gehörschutz benutzen

## 7.6 Forschungsbedarf

Retro- und prospektive Untersuchung von Motorradunfällen (auch GIDAS Daten) unter den Zielsetzungen:

- Häufigkeit und Schwere von Unfalltypen, Bewertung von Maßnahmen
- Stellenwert und Effizienz von Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit und insbesondere bezüglich der aktiven Helmsicherheit und auch der passiven Helmsicherheit
- Erkenntnisse für Fahrausbildung und Fahrverhalten

Unter dem Aspekt der aktiven Sicherheit von Motorradschutzhelmen sollte nach den vorliegenden Ergebnissen der Schwerpunkt auf folgende Untersuchungsinhalte gelegt werden:

- Nutzung von Motorradhelmen und insbesondere Sicht (Gestaltung und Eigenschaften von Helmvisieren) unter ungünstigen Witterungs-, Sicht- und Lichtverhältnissen (Regen- und Nachtfahrten; Visierbeschlag; Blendwirkung; Sichtfeldgröße).
- Fortführung von systematischen Temperaturmessungen. Befindlichkeitsuntersuchungen von Helminnentemperaturen unter Berücksichtigung einer steuerbaren Luftfeuchte und weiterer Klimafaktoren (Luftqualität) bei getragenen Helm.
- Fortführung von aeroakustischen Messungen unter Einschluss von Systemen der aktiven Geräuschkämpfung und Kommunikation
- Fortführung von systematischen Messungen zur Aerodynamik von Schutzhelmen; Gegenüberstellung von biomechanisch relativierten Messwerten am Kraftmessroboter (Halskräfte und Halsmomente) und EMG-Messwerten unter den Aspekten Komfort, Ermüdung.



## 8 ANFORDERUNGEN AN ZUKÜNFTIGE HELME

Die nachfolgend aufgeführten Formulierungsempfehlungen bezüglich Anforderungen an zukünftige Motorradschutzhelme begründen sich im Wesentlichen auf den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung, beinhalten aber auch Erkenntnisse aus der Untersuchung von Unfällen motorisierter Zweiradfahrzeuge im Rhein-Neckar-Kreis seit 1979.

Die Anforderungen ergeben sich aus den unten dargestellten Bewertungen, deren Gewichtung im Sinne der Effizienz nach Häufigkeit und Bedeutung des Vorkommens und unter Aspekten der individuellen und gemeinschaftlichen Gesundheitsprävention vorzunehmen ist.

### 8.1 Aeroakustik

#### Bewertung physikalischer Größen

Die Aus- und Bewertung aller aeroakustischer Messergebnisse hat unter Berücksichtigung gesundheitskritischer Schalldruckpegelexposition zu einem Vorschlag von Helmqualitätsklassen – Aeroakustik geführt:

Qualitätsklasse Aeroakustik 1 (gut):

Schalldruckpegel bei 120 km/h  $\leq$  84 dB(A); bei 190 km/h  $\leq$  94 dB(A)

Qualitätsklasse Aeroakustik 2 (befriedigend):

Schalldruckpegel bei 120 km/h  $\leq$  89 dB(A); bei 190 km/h  $\leq$  100 dB(A)

Qualitätsklasse Aeroakustik 3 (ausreichend):

Schalldruckpegel bei 120 km/h  $\leq$  95 dB(A); bei 190 km/h  $\leq$  106 dB(A)

Qualitätsklasse Aeroakustik 4 (mangelhaft / kritisch):

Schalldruckpegel bei 120 km/h  $>$  95 dB(A); bei 190 km/h  $>$  106 dB(A)

Eine Darstellung der Qualitätsklassen Aeroakustik ist in Abbildung 8-1 wiedergegeben.

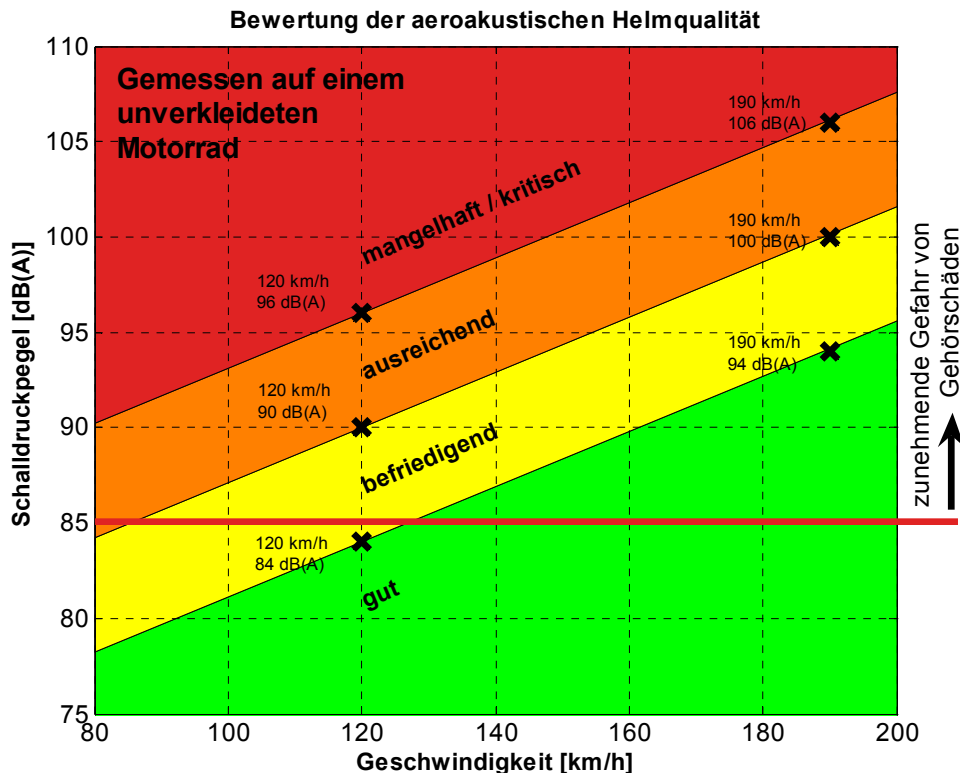


Abbildung 8-1: Darstellung der Helmqualitätsklassen – Aeroakustik

Gehörschutz ist beim Motorradfahren aus gesundheitsprophylaktischen Gründen grundsätzlich empfehlenswert; auf jeden Fall jedoch ab einer Geschwindigkeit von mehr als 120 – 140 km/h je nach Helmqualität grundsätzlich erforderlich.



### Gestalterische Aspekte

- Ausbildung des Helmkragens unter Gesichtspunkten des Schallschutzes
- Visier, Abdichtung, Helmstrak

### Bedeutung für die Normungsarbeit

Aspekte der aeroakustischen Helmqualität sollten bei zukünftiger Normungsarbeit Berücksichtigung finden

### Benutzerhinweise

- Auswahlkriterien beim Helmkauf (Größe, Passform, Visierqualität)
- Helm gemäß Einsatzspektrum des Nutzers
- Benutzung von Gehörschutz

## **8.2 Aerodynamik**

### Bewertung physikalischer Größen

Bei den aerodynamischen Messungen wurden im Rahmen der Projektbearbeitung weder im Windkanal noch bei den Messfahrten Kräfte ermittelt oder auch EMG Werte gefunden, in deren Abhängigkeit oder Korrelation quantitative und differenzierte Aussagen als Grundlage für Anforderungen an zukünftige Helme abzuleiten gewesen wären.

Aus Erkenntnissen des vorliegenden Projektes sollten bei zukünftigen Untersuchungen systematische Messreihen zur Aerodynamik von Schutzhelmen unter Gegenüberstellung von biomechanisch relativierten Messwerten am Kraftmessroboter (Halskräfte und Halsmomente) und EMG-Messwerten fortgeführt werden unter den Aspekten Komfort, bzw. Ermüdung.

### Gestalterische Aspekte

- Visier und Visierscharnier dergestalt, dass bei höheren Geschwindigkeiten bei starken Kopfdrehungen (Schulterblick) ein windkraftbedingtes Aufreißen ausgeschlossen wird.

### Bedeutung für die Normungsarbeit

Zur Berücksichtigung der Normungsarbeit derzeit nicht ausreichend bearbeitet.

### Benutzerhinweise

- Helm gemäß Einsatzspektrum des Nutzers (z. B. Cross- und Jethelme ungeeignet für höhere Geschwindigkeiten).
- Strammer aber bequemer Verschluss der Trageeinrichtung, um Helmrütteln und damit verbundene Sichtbeeinträchtigungen zu vermeiden.

## **8.3 Temperaturverhalten und Belüftungssysteme**

### Bewertung physikalischer Größen

Auch bei der Durchführung der Temperaturmessungen wurden weder im Windkanal noch bei den Messfahrten Temperaturwerte oder sonstige Sachverhalte ermittelt, in deren Abhängigkeit quantitative und differenzierte Aussagen als Grundlage für Anforderungen an zukünftige Helme ableitbar gewesen wären.

Weitere Untersuchungen mit dem Ziel der Erarbeitung von Bewertungsmethoden von Belüftungssystemen und dem Temperaturverhalten von Motorradhelmen erscheinen gerechtfertigt.

**Gestalterische Aspekte**

- Strömungskonformer Verlauf der Belüftungskanäle zur Maximierung des Volumendurchsatzes. Weiterreichende Integration des Belüftungssystems in die Struktur der Schutzpolsterung unter Berücksichtigung deren Verletzungsschutzfunktion (Zielkonflikt?). Aufsatz von Lufthutzen steigert offensichtlich die Effizienz.
- Verlauf von Be- und Entlüftungen dergestalt, dass der Luftstrom im Helm z. B. am Übergang von der Helmaußenschale zur Schutzpolsterung effizient geführt wird.
- Keine scheinbaren Betätigungselemente (Placeboschieber); wenn eine Belüftungsbetätigung vorhanden ist, muss deren Funktion nachvollziehbar sein.
- Gestaltung der Komfortpolsterung unter dem Aspekt der Be- und Entlüftung (Permeabilität und Polsterlücken).
- Farbgebung des Helmes derartig, dass wärmestrahlungsbedingte Aufheizung der Außenschale vermieden wird (weiß statt schwarz, bzw. hell statt dunkel).
- Sinnfällige, leichte Bedienbarkeit der Belüftungsbetätigung; haptische Erkennbarkeit der Belüftungsstellung – auch mit Handschuhen.

**Bedeutung für die Normungsarbeit**

Die Einbeziehung einer Funktionsbeurteilung von Belüftungssystemen sollte zukünftig bei der Normungsarbeit diskutiert werden.

**Benutzerhinweise**

- Zutreffende Wahl von Größe und Passform einschließlich Formschluss der Komfortpolsterung
- Bedienbarkeit – auch mit Handschuhen – beachten

**8.4 Subsysteme****Gestalterische Aspekte**

Trageeinrichtung:

- Vereinheitlichung des Erscheinungsbildes der Betätigungselemente der Trageeinrichtung (Kinnriemenverschluss)
- Vereinheitlichung von Lage und Erscheinungsbild der Kinnteilöffnungselemente, bei Klapphelmen.
- Lage und Gestaltung des Kinnriemenschlusses unter anatomischen Gesichtspunkten (Druck auf Unterkieferknochen), vor allem bei Drucktastenschlössern.

Visier:

- Visier und Visierscharnier dergestalt, dass bei höheren Geschwindigkeiten bei starken Kopfdrehungen (Schulterblick) ein windkraftbedingtes Aufreißen ausgeschlossen wird.

Äußere Helmgestaltung:

- Äußere Gestaltung, insbesondere Farbgebung des Helmes derartig (weiß statt schwarz), dass Auffälligkeit und Erkennbarkeit von Motorradaufsassen gewährleistet sind (siehe darüber hinaus auch Temperaturverhalten / Aufheizung der Außenschale).

**8.5 Empfehlung für Kauf und Nutzung**

Empfehlungen für Kauf und Nutzung sind in der Diskussion, Kapitel 7 unter Verbraucherhinweise wiedergegeben.



## 9 ZUSAMMENFASSUNG

Forschungsarbeiten unter der Zielsetzung der Verminderung oder Vermeidung von Verletzungsfolgen bei Straßenverkehrsunfällen sind seit jeher Schwerpunkt der wissenschaftlichen Untersuchungen am Institut für Rechtsmedizin und Verkehrsmedizin, Universitätsklinikum Heidelberg gewesen.

In jüngerer Zeit wurden Projektbearbeitungen zunehmend unter Fragestellungen nach der Vermeidung des Unfallereignisses an sich, d. h., dass zunehmend die aktive Verkehrssicherheit und somit die aktive Fahrzeugsicherheit, die aktive Sicherheit persönlicher Schutzausrüstung und die persönliche Fahrsicherheit von Fahrzeuglenkern unter ingenieurwissenschaftlichen und verkehrsmedizinischen Aspekten zum Gegenstand von Untersuchungen.

Hierbei nehmen Unfälle motorisierter Zweiradfahrzeuge eine Sonderstellung ein und gewinnen an Bedeutung, da diese sich – relativ gesehen – weniger rückläufig entwickeln als andere Unfallarten, bezüglich derer die getroffenen Maßnahmen zur Reduzierung der Zahl der Verkehrstoten effizienter greifen.

Zur weiteren Verbesserung der Straßenverkehrssicherheit hat die Europäische Gemeinschaft ein neues Aktionsprogramm für die Straßenverkehrssicherheit (2003-2010) angenommen. Gleichzeitig dient die Europäische Charta für die Straßenverkehrssicherheit der Förderung der wirksamsten Maßnahmen, um die Anzahl der Unfälle auf europäischen Straßen zu reduzieren. Ziel ist es, die Zahl der Verkehrstoten bis 2010 um mindestens 50 % zu senken.

Vor diesem Hintergrund – der Erhöhung der Sicherheit beim Motorradfahren – erfolgte die Bearbeitung des von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach in Auftrag gegebenen Verkehrssicherheitsprojektes

### **Anforderungen an zukünftige Helme für Motorradfahrer zur Steigerung der aktiven Motorradsicherheit (FE 82.0271/2004)**

am Fachgebiet Technologische Biomechanik und Unfallforschung des Institutes.

Motorradfahren an sich stellt durch komplexe Regelungsaufgaben im System Mensch-Maschine-Umwelt bereits hohe Anforderungen an den Fahrer. Je nach Fahrsituation und Fahrgeschwindigkeit können Einflussgrößen wie Strömungseffekte, dynamische Haltekräfte, unzulängliche Belüftung sowie Lärmpegel und Frequenzspektrum bei der Benutzung von Motorradhelmen insbesondere das Gehör, die klimatische Befindlichkeit und die Halsmuskulatur von Motorradfahrern unterschiedlich stark belasten.

Demgegenüber ist die nachhaltige Erhaltung von Kondition und Konzentration wesentlich für die aktive Fahr- und Verkehrssicherheit beim Führen von Motorrädern aller Art.

Derzeitige Schutzhelme bieten ein untersuchenswertes Verbesserungspotential bzgl. der aerodynamischen, innenklimatischen sowie aeroakustischen Helmeigenschaften, dessen Identifizierung einen wesentlichen Beitrag zur Erhaltung der Fahrtüchtigkeit und somit der aktiven Fahr- und Verkehrssicherheit erbringen kann. Hierbei ist zu beachten, dass ein spezifischer Informationsfluss (z. B. akustische Zeichen wie Sondersignale) aus dem Verkehrsumfeld sicher gestellt sein muss (§ 23 StVO).

Im Rahmen der Projektbearbeitung wurden systematische Untersuchungen an projektdienlich ausgewählten, ECE-R 22.05 geprüften Helmmodellen unterschiedlicher Bauformen (Integral-, Klapp-, Jet- und Crosshelm) und unterschiedlicher Preiskategorien durchgeführt.

So wurden aerodynamische und aeroakustische Eigenschaften sowie die Helminnentemperatur bei verschiedenen Geschwindigkeiten im Labor und in abgestimmten systematischen Fahrversuchen an Versuchspersonen in Fahrerposition messtechnisch erfasst.

Die Laborversuche wurden in Zusammenarbeit mit der Firma Schuberth, Magdeburg, in deren Windkanal in Braunschweig durchgeführt. Die systematischen Fahrversuche (Messfahrten) erfolgten im öffentlichen Straßenverkehr auf einer ca. 20 Kilometer langen Teststrecke auf Landes- und Bundesstraßen sowie Autobahnabschnitten.

Zur Durchführung der Versuche im Labor wie auch der Messfahrten wurde als Projektfahrzeug ein unverkleidetes Motorrad der Mittelklasse (Suzuki Bandit 650) mit ABS eingesetzt. Zur Durchführung ergänzender Versuchsreihen kam derselbe Motorradtyp, jedoch mit Teilverkleidung zum Einsatz.

Die aeroakustischen Eigenschaften (Helminnengeräusche) der Projekthelme wurden zunächst im Windkanal mittels eines Head-Acoustic Kunstkopfes einer Messpuppe sowie an Versuchspersonen mit zwei „In-ear“ Messmikrofonen gemessen und sodann während Messfahrten im Straßenverkehr (s. o.) untersucht.

Die Messung der Helminnengeräusche erfolgte für unterschiedliche Sitzpositionen vorzugsweise bei einer Fahrgeschwindigkeit von 120 km/h, im Übrigen auch bei Geschwindigkeiten von 80 und 160 km/h. Die erzeugten Soundfiles wurden mittels Frequenzgang- und Schalldruckpegel analysiert.

Die aerodynamischen Eigenschaften wurden im Windkanal mit einem auf dem Projektfahrzeug installierten, computergesteuerten Kraftmessroboter in verschiedenen Kopfpositionen evaluiert. Dabei wurden die Halskräfte in einem kartesischen Koordinatensystem registriert und gespeichert.

Zur Analyse der Helminnentemperatur und Untersuchung der Effizienz der Helmbelüftung wurden bei den Messfahrten anfänglich drei, später sechs in einer unter dem Helm applizierten Netzkappe integrierte Temperatursensoren sowie ein Außentemperatursensor als Referenzwertgeber eingesetzt.

Die Temperaturmessungen erfolgten ebenso wie die Erfassung und Aufzeichnung der psychophysiologischen Leistungs- und Befindlichkeitsparameter (Elektrokardiogramm, Elektromyogramm, Elektrodermale Aktivität) während der Messreihen im Windkanal und der Messfahrten mittels einer mobilen, achtkanaligen Messkette.

Sowohl während der Messungen im Windkanal, als auch bei Messfahrten wurden die oben genannten psychophysiologischen Leistungs- und Befindlichkeitsparameter erfasst und dokumentiert.

### Aeroakustik

Sowohl bei 120 als auch bei 160 km/h liegen die mit der Messpuppe gemessenen Werte bei vielen Helmen über den Werten der Versuchspersonen. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass einige Helme bzgl. der Messpuppe keine hinreichende Passgenauigkeit aufweisen.

Die Messwerte der Versuchspersonen lagen unabhängig von den Versuchsgeschwindigkeiten bei den Messfahrten bei fast allen Projekthelmen wegen ungünstiger Anströmung der Helme geringfügig über den im Windkanal ermittelten Werten.

Das Motorengeräusch des Projektmotorrads dürfte als Erklärung für die höheren Schalldruckpegel bei den Messfahrten weitgehend auszuschließen sein (siehe auch Hüttenbrink (1982), Lower M.C. et al. (1994) und (1996)).

Bereits bei einer *Fahrgeschwindigkeit von 80 km/h* wurden an einigen Projekthelmen Schalldruckpegel (bis 93 dB(A)) und somit oberhalb des physiologisch vertretbaren Bereiches einer Gehörbelastung ermittelt.

Bei *Fahrgeschwindigkeiten von 120 km/h* lagen die ermittelten Schalldruckpegel aller Einzelmessungen zwischen 86,8 und 105,4 dB(A), was anschaulich dem Geräusch einer Motorkettensäge aus 1 m Entfernung (103 dB(A)) entspricht.

Die „lautesten“ Helme der Messungen bei 120 km/h waren erwartungsgemäß der Jethelm sowie der Crosshelm, gefolgt aus der Gruppe der Klapphelme von einem Helm mit 101,1 dB(A) und aus der Gruppe der Integralhelme von einem Helm mit 99,1 dB(A).

Der Helm mit dem niedrigsten gemessenen Schalldruckpegel 86,8 dB(A) liegt bereits in einem Bereich, in dem bei entsprechender Expositionszeit Gehörschäden nicht auszuschließen sind.

Bei einer *Fahrgeschwindigkeit von 160 km/h* wurden unter den Projekthelmen Schalldruckpegel zwischen 91,4 dB(A) und 110,7 dB(A) gemessen, was anschaulich dem Geräusch eines Martinshorns aus 10 m Entfernung (110 dB(A)) entspricht.

Auch bei dieser Fahrgeschwindigkeit wurden die Maximalwerte bei dem Jet- und bei dem Crosshelm ermittelt.

Der bereits bei 120 km/h „lauteste“ Helm aus der Gruppe der Klapp- und Integralhelme wies hier einen Schalldruckpegel von 106,1 dB(A) auf. Entsprechende Werte lagen bei dem (bereits bei 120 km/h) „leisesten“ Klapphelm bei 91,4 dB(A), also einem Schalldruckpegelunterschied von 14,7 dB(A).

Eine Geschwindigkeitszunahme von 80 auf 120 km/h brachte eine mittlere Schalldruckpegelsteigerung von ca. 9 dB(A), eine Geschwindigkeitszunahme von 120 auf 160 km/h eine solche von ca. 6 dB(A).

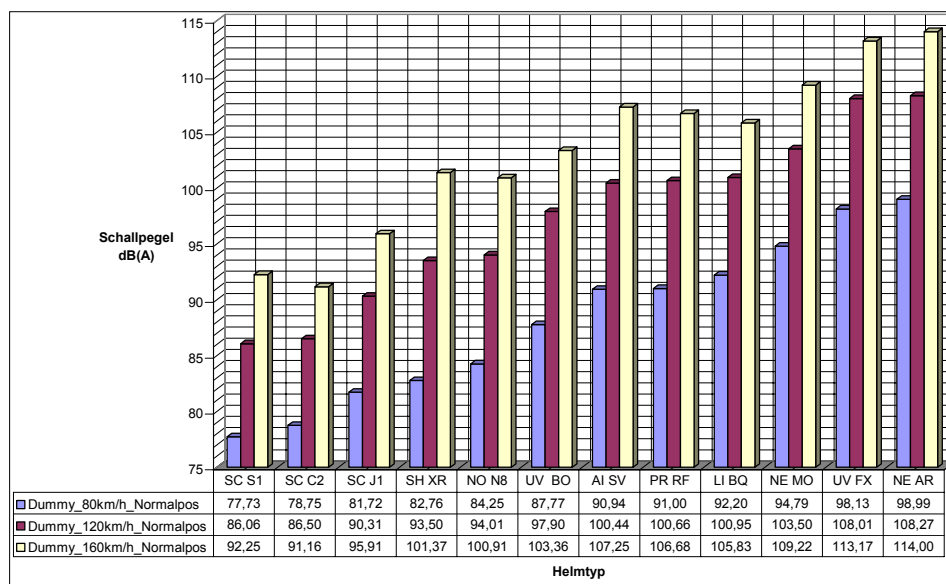


Abbildung 9-1: Schalldruckpegel bei 80, 120 und 160 km/h; Messpuppe; Windkanal

### Aerodynamik

Messungen mittels Kraftmessroboter

Vorteilhaft bei Messungen mit dem Kraftmessroboter ist die Reproduzierbarkeit der Kopfpositionen. Die am Kraftmessroboter gemessenen

- Gesamtkräfte lagen in einem Bereich von 38 N bis 52 N.

Für die einzelnen Komponenten ergaben sich:

- Widerstandskräfte (x-Richtung) zwischen 29 N und 40 N;
- Auftriebskräfte (z-Richtung) zwischen 13 und 28 N und für die
- Querkräfte (y-Richtung) zwischen 25 N und 37 N (Mittelwert der Betragswerte).

Messungen mittels Kraftmesshelm

Die Messungen mittels des Kraftmesshelmes ergaben bei den Widerstandskräften Messwerte, die vergleichbar sind mit den Messwerten des Kraftmessroboters.

### Belüftungssysteme / Temperaturverhalten

Die Temperaturmessungen am Kopf unter dem Helm erfolgten zunächst unter Einsatz von drei, später sechs Temperaturmesssensoren, sowie einem weiteren Temperatursensor als Referenzwertgeber (Außentemperatur).

Bei fünf der untersuchten Projekthelme konnte die Funktion eines regelbaren Belüftungssystems durch einen deutlichen Einfluss auf die Helminnentemperatur nachgewiesen werden. Bei fünf weiteren Helmen konnte mit dem angewendeten Messverfahren die Funktion einer verstellbaren Belüftung nicht nachgewiesen werden.

Bei den Temperaturmessungen der Messfahrten ergaben sich bezogen auf die oben erst genannten fünf Helme je nach Position der Temperatursensoren Helminnentemperaturen im Bereich von 28°C bis maximal 37°C bei Außentemperaturen von ca. 20°C +/- 4°C.

Bei diesen Helmen konnten nach Öffnen der Belüftung Temperaturabnahmen von bis zu ca. 5°C innerhalb von drei Minuten registriert werden, wobei ein gewisser Einfluss der Position der Temperatursensoren eingeräumt werden muss. Während der Standphase der Messfahrten stiegen diese Temperaturwerte innerhalb der gleichen Zeit wieder um ca. 3 bis 5°C an.

Bei der Ermittlung des Ansprechverhaltens der Temperatursensoren im statischen Laborversuch stellte sich bei einer Raumtemperatur von 23°C, die gemessene Helminnentemperatur nach 20 Minuten bei einem Wert von ca. 37°C ein.

Helme mit funktionierend einstellbarer Belüftungseinrichtung bewirkten bei den sommerlichen Umgebungstemperaturen während der Messfahrten bei den Helmträgern eine physiologisch angenehme Befindlichkeit.

Bei der Projektbearbeitung wurde auffällig, dass die grundsätzliche Funktion und die Effizienz von Belüftungssystemen in Motorradhelmen durch folgende Gestaltungsfehler beeinträchtigt werden können:

- luftundurchlässige Komfortpolsterungen und/oder Schaumstoffeinlagen im Helmdom
- nachlässige Konstruktion und Fertigung von Belüftungsöffnungen der Helmschale, die im Übergang nicht mit den anschließenden Belüftungskanälen der Schutzpolsterung übereinstimmen
- ungünstige Passform und unzulänglicher Formschluss der Komfortpolsterung
- fehlende Abdichtungen am Übergang von Belüftungsbohrungen der Helmschale und Belüftungskanälen der Schutzpolsterung.

Ferner sind offensichtlich Helme im Handel, deren Bedienelemente der Belüftungseinrichtung nur eine Scheinfunktion haben („Placeboschieber“).

Die nachfolgende Abbildung lässt die Luftstromführung eines Helmes mit effizienter Belüftungseinrichtung im superponierten CT-Schnitt (Farbwertumkehr) erkennen:

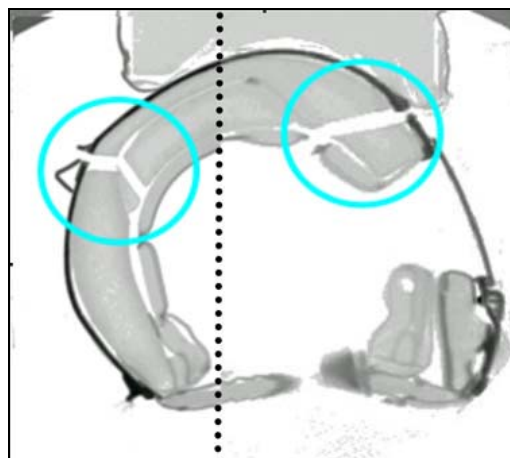


Abbildung 9-2: Beispiel einer wirkungsvollen Luftstromführung im CT-Schnitt

Der Einfluss der Helmaußenfarbe auf die Helmtemperatur ließ erkennen, dass schwarz lackierte Helmaußenschalen unter sommerlicher Sonneneinstrahlung sich auf Temperaturwerte von bis zu 86°C und somit im Verhältnis zu einer hellen Lackierung (z. B. Silber) auf Temperaturunterschiede von ca. 30 °C an der Helmoberfläche aufheizen.

Dieses absorbierende oder reflektierende Strahlungswärmeverhalten schlägt ohne vorhandene Konvektionskühlung in das Helminnere in einer Größenordnung von 8 °C durch.

Dieser Sachverhalt kann bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten, Stopp and Go Betrieb, oder im Stau zu physiologisch ungünstigen Tragebedingungen für Motorradfahrern führen. Hieraus könnte zumindest die Empfehlung resultieren, Motorradhelme mit heller Außenlackierung (wärmestrahlungsreflektierend) zu benutzen. Eine derartige Farbgebung würde auch die Erkennbarkeit von Motorradfahrern steigern und somit unfallpräventiv wirken, siehe hierzu auch (Wells et al. 2004).

### Psychophysiologische Untersuchung

Die Erfassung der psychophysiologischen Leistungs- und Befindlichkeitsparameter führte zu folgenden Ergebnissen:

Generell wurde eine Erhöhung der Pulsfrequenz aufgrund ansteigender Geschwindigkeit registriert. Insgesamt lag die Pulsfrequenz bei allen Versuchspersonen in einem physiologischen Bereich von 76 bis 123 Schlägen pro min. Das Maß der Pulszunahme sowie die absoluten Werte zeigten starke interindividuelle Unterschiede.

Ein Vergleich der individuellen Messwerte, die bei den Projekthelmen bei der Geschwindigkeit von 160 km/h erfasst wurden, ließ erkennen, dass zwei unterschiedliche Auswahlgruppen von Helmen bei den Versuchspersonen einerseits relativ niedrige und andererseits relativ hohe Pulsfrequenzen bewirkten. Der für diese Geschwindigkeit eher ungünstige Crosshelm führte bei den Versuchspersonen zur relativ höchsten Pulsfrequenz; eher niedrige Pulsfrequenzen traten bei Helmen der oberen Preisklasse auf.

Die Ermittlung der Pulsfrequenz hat verwertbare Anhaltspunkte geliefert, war insgesamt jedoch nicht geeignet zuverlässige Werte zur Beurteilung unterschiedlicher Helmsysteme zu unterscheiden.

Ein Elektromyogramm (EMG), das ebenfalls mit drei Elektroden an dem im Wesentlichen für die Haltearbeit des Kopfes zuständigen Muskel der rechten, bzw. linken Halsseite (Musculus sternocleidomastoideus) abgeleitet wurde, sollte Aufschluss über die Aktivität dieses Muskels geben.

Das Verfahren hat verwertbare Ergebnisse erbracht, wobei die Werte der EMG Messungen zwischen 6 und 100 µV rms (mikro Volt root mean square) lagen.

Das System ließ qualitative Aussagen zu und es konnten aerodynamisch gute und ungünstige Helme unterschieden werden, jedoch bestanden starke interindividuelle Unterschiede.

Eine Rangfolge der Helme, die sich aus den Ergebnissen der EMG Messung ergibt, stimmt nur partiell mit der Rangfolge, die sich aus den Gesamtkräften des Kraftmessroboters ergibt, überein.

Die am Kraftmessroboter ermittelten Kraftmesswerte, bzw. deren Komponenten geben nur bedingt die physiologische Belastung des Motorradfahrers wieder; elektromyographische Messungen liefern demgegenüber Aussagen zur Aktivität der hauptsächlich beanspruchten Muskel, die die tatsächliche Beanspruchung des Helmträgers erkennbar machen.

Aus der Erfassung und Auswertung der *Sinusarrhythmie* und der *elektrodermalen Aktivität* konnten unter der Zielsetzung des Projektes keine helmspezifischen Aussagen abgeleitet werden.



### Anforderung an zukünftige Motorradhelme

Anforderungen an zukünftige Motorradhelme waren nach den Untersuchungsergebnissen wie folgt abzuleiten:

Bezüglich der *Aeroakustik* wurde eine Gefährdung des Gehörs infolge der Geräuschentwicklung unter dem Helm auffällig; hieraus folgte ein Vorschlag zur Formulierung von vier „Qualitätsklassen – Aeroakustik“, die sich an kritischen Expositionswerten des Gehörs und dem Bereich der jeweilig gefahrenen Geschwindigkeit orientieren (siehe auch Abbildung 8-1). Bereits durch Bewusstseins-schärfung und die Empfehlung, Gehörschutz zu tragen, könnten gesundheitsprophylaktische Erfolge erzielt werden.

Bezüglich der *Aerodynamik* von Helmen wurde kein akuter Bedarf hinsichtlich der Formulierung von Anforderungen erkennbar. Die Fortführung systematischer Untersuchungen (siehe unten) erscheinen jedoch zielführend (Fragen der Ermüdung und Gesundheitsprophylaxe).

Hinsichtlich *Temperaturverhalten* und *Belüftungssystemen* ermöglichten die Untersuchungsergebnisse eine Reihe von Hinweisen zur Gestaltung von wirkungsvollen und einstellbaren Belüftungssystemen an Helmen. Aus Gründen der Temperaturentwicklung unter dem Helm, aber auch aus Gründen der Erkennbarkeit und Unfallvermeidung sollten Helme eher eine helle Farbgebung aufweisen.

Die unten aufgeführten *Verbraucherhinweise* sollen bei Kauf und Nutzung von Motorradhelmen helfen, dass derzeitig verfügbare Maß an aktiver Helmsicherheit auszuschöpfen.

### Forschungsbedarf, zukünftige Untersuchungen

Retro- und prospektive Untersuchung von Motorradunfällen (auch GIDAS Daten) unter den Zielsetzungen:

- Häufigkeit und Schwere von Unfalltypen, Bewertung von Maßnahmen
- Stellenwert und Effizienz von Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit des Motorradfahrens und insbesondere bezüglich der aktiven und auch der passiven Helmsicherheit
- Erkenntnisse für Fahrausbildung und Fahrverhalten

Unter dem Aspekt der aktiven Sicherheit von Motorradschutzhelmen sollte nach den vorliegenden Ergebnissen der Schwerpunkt auf folgende Untersuchungsinhalte gelegt werden:

- Nutzung von Motorradhelmen und insbesondere Sicht (Gestaltung und Eigenschaften von Helmvisieren) unter ungünstigen Witterungs-, Sicht- und Lichtverhältnissen.
- Fortführung von systematischen Untersuchungen bezüglich aller Helmklimaparameter insbesondere Helminnentemperatur und Luftfeuchte.
- Fortführung von aeroakustischen Messungen unter Einschluss von Systemen der aktiven Geräuschdämpfung und der Kommunikation.
- Fortführung von systematischen Messungen zur Aerodynamik von Schutzhelmen; Gegenüberstellung von biomechanisch relativierten Messwerten am Kraftmessroboter (Halskräfte und Halsmomente) und EMG-Messwerten unter den Aspekten Komfort, bzw. Ermüdung.

### Verbraucherhinweise bei Kauf und Nutzung von Motorradhelmen (aktive Helmsicherheit)

- Typprüfung entsprechend ECE-R 22 in der aktuellen Fassung
- Helmgröße und Passform (sorgfältige Anprobe; wenn möglich Probefahrt)
- Auswahl entsprechend eigenem Einsatzbereich (z. B. Sport, Touren, Enduro)
- Ergonomie – Bedienbarkeit von Kinnriemenverschluss, Visier und Lüftungsbetätigung (mit Handschuhen)
- Helmäußeres hell und auffällig; reflektierende Sicherheitsaufkleber
- Helltransparentes Visier mit erkennbar guter Abdichtung und artikulierter Rasterung (Visiertönung vermeiden; wenn, dann schwenkbare Sonnenblende)
- Trageeinrichtung ordnungsgemäß verschließen; strammer jedoch bequemer Sitz
- Ggf. Gehörschutz benutzen

## 10 LITERATURVERZEICHNIS

- Aldman B., Balldin U., Gustafsson H., Nygren A., Sporrang A., Astrand I. (1981)  
The sound attenuation and the aerodynamically generated noise inside Motorcycle helmets. VIth international IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impacts; Salon de Provence (France).
- Aldman B., Balldin U., Gustafsson H., Nygren A., Sporrang A., Astrand I. (1981)  
Carbon dioxide retention inside motor-cycle helmets. 128-137. 6th International Ircobi Conference on the Biomechanics of Impacts.
- Aldmann B., Nygren A., Wersal J. (1983)  
Hearing and motorcycle helmets. Journal of Traffic Medicine 11, 42-44.
- Anonymus. (1983)  
Höllenslärm unter dem Helm - Vortrag Dr. Hüttenbrink Universität Münster vor der 53. Jahresversammlung der Deutschen Gesellschaft für HNO-Heilkunde, Kopf- und Halschirurgie. Kongressbericht der Medical Tribune.
- Anonymus. (1997)  
Do motorcycle helmets affect riders' vision and hearing? National Highway Traffic Safety Administration. Annals of Emergency Medicine 29[2], 282-283.
- Anonymus. (1999)  
Gehörschäden durch Lärmbelastungen in der Freizeit. Deutsches Ärzteblatt 96[16], A 1081-A 1084.
- Anonymus. (2005)  
Fachinformation "Lärm-Stress" am Arbeitsplatz - Nicht das Innenohr betreffende Lärmwirkungen - "Extra-aurale Lärmwirkungen". Fachausschuss Maschinenbau, Fertigungssysteme, Stahlbau Informationsblatt Nr. 20[10].
- Anonymus. (2006)  
Artikelsammlung zum Thema Lärm. [www.dalaerm.de/wett2001/wb002/artikel.htm](http://www.dalaerm.de/wett2001/wb002/artikel.htm) .
- Bayerisches Landesamt für Umweltschutz. (2003)  
Lärm - Hören, Messen und Bewerten. BayLfU2003 - PS1 / Umweltberatung Bayern.
- Berge W. (1987)  
Untersuchungen an Motorradhelmen im Windkanal. Forschungshefte Zweiradsicherheit Nr.5, Institut für Zweiradsicherheit e.V.
- Berge W. (1992)  
Sturzhelm und Verfahren zum Absenken des Geräuschpegels für einen Sturzhelmträger. [Offenlegungsschrift DE4207873A1].
- Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik. (1997)  
BGB B3 - Unfallverhütungsvorschrift Lärm.
- BG Fachausschuss Maschinenbau Fertigungssysteme S. (2005)  
Fachinformation "Lärm-Stress" am Arbeitsplatz - Nicht das Innenohr betreffende Lärmwirkungen - "Extra-aurale Lärmwirkungen"-. Fachausschuss Informationsblatt Nr.018 [10], 1-9.
- Binnington J. D., McCombe A. W., Harris M., (1993)  
Warning signal detection and the acoustic environment of the motorcyclist. British Journal of Audiology 27[6], 415-422.
- Birner U. (1992)  
Psychologische Bedingungen des nächtlichen Bruxismus. Dissertation an der Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Böhringer U. (2006)  
ADAC-Helmtest: Zehn Klapphelme auf dem Prüfstand. ADAC Motorradwelt (April/06).

- Boucsein, W. (1988)  
Elektrodermale Aktivität; Grundlagen, Methoden und Anwendungen. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Brühwiler P. A. (2003)  
Heated, perspiring manikin headform for the measurement of headgear ventilation characteristics. *Measurement Science & Technology* 14[2], 217-227.
- Brühwiler P. A., Stämpfli R., Huber R., Camenzint M. (2005)  
CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> Concentrations in Integral Motorcycle Helmets: Cause for Alarm? BAST Heft F55. 1st International Conference on ESAR "Expert Symposium on Accident Research", September 2004 Hannover.
- Bundesärztekammer Wiss.Beirat. (1999)  
Gehörschäden durch Lärmbelastung in der Freizeit. *Deutsches Ärzteblatt* 96[16], A-1081-A-1084.
- Catlin F. I., (1986)  
Noise-induced hearing loss. *American Journal of Otology* 7[2], 141-149.
- Cook S. (2001)  
Quality of Motorcyclists Vision. Summary Report.
- COST. (2005)  
Accident Prevention options with Motorcycle Helmets - COST 357 - (laufendes Projekt 2005 bis 2009).
- Deetjen, P., Speckmann, E.-J., & Hescheler, J. (2005)  
*Physiologie*, 4th edn, Urban & Fischer Verlag, München.
- Deutscher Ärztetag. (2000)  
Gesundheitliche Folgen von Freizeitlärm. Beschluss des 103.Deutschen Ärztetages vom Mai 2000.
- Dobie R. A., Dobie R. A. (1995)  
Prevention of noise-induced hearing loss. *Archives of Otolaryngology - Head & Neck Surgery* 121[4], 385-391.
- Elsensohn G. (2003)  
Thermokonfort beim Motorradhelm. Diplomarbeit an der Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs - St Gallen - Schweiz.
- Europäische Union. (2003)  
Richtlinie 2003/10/EG des Europäischen parlaments und des Rates vom 06. Februar 2003 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (Lärm).
- Fligor B. J., Cox L. C., Fligor B. J., Cox L. C. (2004)  
Output levels of commercially available portable compact disc players and the potential risk to hearing. *Ear & Hearing* 25[6], 513-527.
- Genuit K. (1988)  
Kunstkopf-Meßtechnik - ein neues Verfahren zur Geräuschdiagnose und -analyse. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* 35, 103-105.
- Green J., Green J. (2002)  
Noise-induced hearing loss.[comment]. *Pediatrics* 109[5], 987-988.
- Harrison R. (1973)  
The effectiveness of motorcycle helmets as hearing protectors. Projekt Record ED&T 2210, USDA Forest Service.
- Harrison R. (1974)  
Do Motorcyclists Helmets make good hearing Protectors. *Sound and Vibration*.
- Hartfiel J. (1986)  
Schutzhelme für die Waldarbeit. *Forsttechnische Informationen* 38[1].

- Haumann M., Krautscheid R. (2004)  
Untersuchung der Belastung und Beanspruchung von Motorradfahrern bei Navigationsaufgaben. Institut für Zweiradsicherheit, Forschungshefte Zweiradsicherheit Nr. 11 - Tagungsband der 5. Internationalen Motorradkonferenz 2004.
- Henderson R. (1975)  
Effect of Safety Helmets on Auditory Capability. U.S. Dept of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration, Office of Driver and Pedestrian Research.
- Hertneck H. (2005)  
Schlagfeste Argumente - Grosser Motorrad Helmtest 2005. Zeitschrift Motorrad.
- Heyl G. (1981)  
Motorrad Extrablatt Helmtest - Windkanal, Aerodynamik - Fahrversuch, Komfort - Labor, Schutzwirkung. Zeitschrift Motorrad [7], 107-130.
- Heyl G., Lindener N., Stadler M. (1993)  
Akustische/aeroakustische Eigenschaften von Motorradhelmen. VDI - Verlag. VDI Fachtagung Motorrad Berlin.
- Hobi V. (1985)  
Basler Befindlichkeitsskala. Ein Self-Rating zur Verlaufsmessung der Befindlichkeit.
- Honda Suisse. (1984)  
MOTO 86 - Operation Survie - Operation Überleben - Was ist Lärm? Honda (Suisse) SA, Genf.
- Horn B. (1979)  
Windkanalmessungen des TNO Delft (Interner nicht veröffentlichter Prüfbericht Nr. 305/79).
- Hüttenbrink K. B. (1982)  
Lärmmessung unter Motorradhelmen. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 29, 182-187.
- Janke G., Rothhämel J., Schimpf O. (2005)  
Schutzhelme. Wolf-Heinrich Hucho. Aerodynamik des Automobils - Strömungsmechanik, Wärmetechnik, Fahrdynamik, Komfort; [10], 605-634, VIEWEG Verlag.
- Jordan C., Hetherington O., Woodside A., Harvey H. (2004)  
Noise Induced Hearing Loss in Occupational Motorcyclists. Journal of Environmental Health Research 3[2], 70-77.
- Jung K., Schenk H. (1984)  
Zur Erfassung des Mikroklimas um Schutzhelminnenraum - Entwicklung und Einsatz eines Meßsystems. Arbeitsmedizin Sozialmedizin Präventivmedizin 19[9], 209-213.
- Jung K. (1985)  
Untersuchungen zur Verbesserung des Kleinklimas im Schutzhelminnenraum. Die Berufsgenossenschaft [5].
- Jung K. (1986)  
Wie warm ist es unter dem Schutzhelm ? Schweißen und Schneiden 36[11], 511-513.
- Keim B., Bärenz P., Grieshaber R., Marquardt E. (1111)  
Die Sinusarrhythmie als Indikator für mentale Beanspruchung. Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gaststätten.
- Keith A. (2003)  
Noise exposure in motorcyclists. Journal of the Royal Society of Medicine 96[3], 158.
- Kortesuo A., Kaivola R. (1994)  
Motorcyclist's Helmet Noise Measurement and Attenuation. 1159, 57-66. VDI Berichte.

- Kortesuo A., Kaivola R. (1996)  
Motorcyclist's Helmet Noise, a Solution for Attenuation. Nordic acoustical meeting, June 1996 Helsinki.
- Kortesuo A., Kaivola R. (1998)  
Motorcyclist's Helmet Noise Attenuation, Documenta Acustica 11/EE1 Seite 189ff. Proceedings of the International EAA/ EEAA Symposium "Transport Noise and Vibration" Tallin, Estland.
- Krebber W., Kielmann G. (1997)  
Richtungshören mit Motorradhelmen. Fortschritte der Akustik - DAGA, Oldenburg.
- Kremer M. (2006)  
Internet Multimediaprogramm zum Thema Gehör und Hören "ars auditus Akustik-Gehör-Psychoakustik" der Bergischen Universität Wuppertal, Elektrotechnik, Informationstechnik, Medientechnik. [http://www.dasp.uni-wuppertal.de/ars\\_auditus/index.html](http://www.dasp.uni-wuppertal.de/ars_auditus/index.html).
- Lehmann G., Baader E. W. (1961)  
Handbuch der gesamten Arbeitsmedizin - I Band Arbeitsphysiologie. Berlin - München - Wien, Urban & Schwarzenberg.
- Lindemann J., Hüttenbrink K. (1996)  
Verminderung der Windgeräusche unter Motorradhelmen. Zwanzig Jahre Geers-Stiftung Dortmund.
- Lower M.C., Hurst D. W., Thomas A., Claughton A. R. (1994)  
Sources and levels of noise under motorcyclists helmets. Proceedings of the Institute of Acoustics, University of Southampton UK 16, 319-326.
- Lower M., Hurst D. W., Thomas A. (1996)  
Noise levels and noise reduction under motorcycle helmets. 979-982. Proceedings of Internoise 1996.
- Lower M. (2003)  
Noise levels under motorcycle helmets. ISVR Consulting.
- Mai H. J. (1977)  
Gut in Schale - 24 Integralhelme im Test. Zeitschrift Motorrad, 30-49.
- Maue J. H. (1990)  
Lärmbelastung für Motorradfahrer - Messergebnisse und Schutzmaßnahmen. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 37, 15-19.
- Mauer K., Herwig T. (1985)  
Motorrad Extrablatt Helmtest - Wie gut schützen sie wirklich? - Welcher siegt im Windkanal? - Wer hat die besten Visiere? Zeitschrift Motorrad - Sonderdruck.
- Mc Combe A. W., Binnington J., Donovan D., McCombe T. S. (1992)  
Motorcyclists and wind noise. Lancet 340[8824], 911-912.
- Mc Combe A. W., Binnington J., Bose R. (1993)  
Wind noise and motorcyclists. Clinical Otolaryngology 18.
- Mc Combe A. W., Binnington J., Mc Combe T. S. (1993)  
Hearing protection for motorcyclists. Clinical Otolaryngology 18, 465-469.
- Mc Combe A. W., Binnington J. A., Nash D. (1994)  
Wind noise and motorcycle crash helmets. Journal of Low Frequency Noise & Vibration 13[2], 49-57.
- Mc Combe A. W., Binnington J., Nash D. (1994)  
Two solutions to the problem of noise exposure for motorcyclists. Occupational Medicine (Oxford) 44[5], 239-242.

- Mc Combe A. W., Binnington J. (1994)  
Hearing loss in Grand Prix motorcyclists: occupational hazard or sports injury? *British Journal of Sports Medicine* 28, 35-37.
- Mc Combe A. W., Binnington J., Davis A., Spencer H. (1995)  
Hearing loss and motorcyclists. *Journal of Laryngology & Otology* 109[7], 599-604.
- Mc Combe A. W. (1994)  
Hearing loss in motorcyclists - Editorial. *Clinical Otolaryngology*, 177-178.
- Mc Combe A. W. (2003)  
Hearing loss in motorcyclists: occupational and medicolegal aspects.[Review]. *Journal of the Royal Society of Medicine* 96[1], 7-9.
- Mc Combe A. W. (2005)  
Motorcycling and the ear. <http://www.tinnitus.org.uk/>, British Tinnitus Association.
- McKnight A. J., McKnight A. S. (1995)  
The effects of motorcycle helmets upon seeing and hearing. *Accident Analysis & Prevention* 27[4], 493-501.
- Paakkonen R., Kuronen P. (1988)  
Low-frequency aviation noise and noise attenuation of aviation headsets and helmets using active noise cancellation. *Journal of Low Frequency Noise & Vibration* 17[4].
- Paakkonen R., Kuronen P. (1996)  
Noise attenuation of helmets and headsets used by Finnish Air Force pilots. *Applied Acoustics* 49[4].
- Paakkonen R., Kuronen P., Korteoja M. (2001)  
Active noise reduction in aviation helmets during a military jet trainer test flight. *Scandinavian Audiology, Supplementum* 30, 177-179.
- Patel R., Mohan D. (1993)  
An improved motorcycle design for tropical helmets. *Applied Ergonomics* 24[6], 427-431.
- Petzold S., Klemm E. (2001)  
Umweltbelastung durch Lärm - häufige Folge: bleibende Gehörschäden. [www.gesundheitsreport-sachsen.de](http://www.gesundheitsreport-sachsen.de)
- Pinel, J. (2001)  
Biopsychologie. Akad. Verl., Heidelberg; Berlin.
- Piro T., Fürbeth V., Großer W., Weidner C., Schellmann B. (2004)  
Gefahr erkannt Risiko gebannt? Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik
- Purswell J. L., Dorris A. L. (1977)  
Auditory and biomechanical performance requirements for motorcycle helmets. 226-230. *Proceedings of the Human Factors Society - 21st Annual Meeting*.
- Rabinowitz P. M., Rabinowitz P. M. (2759)  
Noise-induced hearing loss. *American Family Physician* 61[9], 2749-2756.
- Reid J., Wang E. L. (2000)  
A system for quantifying the cooling effectiveness of bicycle helmets. *Journal of Biomechanical Engineering* 4, 457-460.
- Ribback S. (2002)  
Psychophysiologische Untersuchung mentaler Beanspruchung in simulierten Mensch-Maschine-Interaktionen. Humanwissenschaftliche Fakultät der Universität Potsdam.
- Rösler, F. (2001)  
Enzyklopädie der Psychologie - Grundlagen und Methoden der Psychophysiologie. Hogrefe Verlag für Psychologie; Göttingen, Bern, Toronto, Seattle.

- Ross B. C. (1989)  
Noise exposure of motorcyclists. *Annals of Occupational Hygiene* 33[1], 123-127.
- Rothhämel J., Schimpf O. (2003)  
Qualifizierung von Strömungsgeräuschen unter Motorradhelmen. *Fortschritte der Akustik - DAGA*.
- Rothhämel J., Janke G., Schimpf O. (2005)  
Bestimmung der Sprachübertragungsqualität unter Motorradhelmen. *Fortschritte der Akustik - DAGA*.
- Rothhämel J., Janke G., Schimpf O. (2005)  
Turbulente An- und Umströmung von Motorradhelmen unter strömungsakustischen Aspekten. *Fortschritte der Akustik - DAGA*.
- Satsangi K., Howell A. R. (1979)  
Wind noise exposure of motorcycle riders. 5, *Society of Mechanical Engineers Papers*, 9.
- Saunders A. (1991)  
Helmet Noise - A good helmet is a quiet helmet. *Motorcyclist magazine*.
- Schäfer A. (2006)  
Facharbeit zum Thema Lärm und Lärmmessung. <http://www.physiktreff.de/material/siprosys/laerm.htm>
- Schandry, R. (1998)  
Lehrbuch Psychophysiologie. Beltz - Psychologie-Verl.-Union, Weinheim.
- Schueler F., Mattern R., Schmidt G. (1984)  
Dynamic fronto-occipital head loading of helmet-protected cadavers. 210-227. *EEC Seminar on the Biomechanics of Impacts in Road Accidents*.
- Schueler F., Bayer G., Mattern R., Helbling M. (1984)  
Der Körperanprall gegen Schutzplanken beim Verkehrsunfall motorisierter Zweiradbenutzer. *Institut für Zweiradsicherheit e. V. Forschungshefte Zweiradsicherheit, Band 2*.
- Schueler F., Mattern R., Helbling M. (1985)  
Wirksamkeit von Elementen des passiven Unfallschutzes. *Schutzhelme für motorisierte Zweiradfahrer, Band 3, Forschungsheft 114.*; Bundesanstalt für Straßenwesen Bergisch-Gladbach.
- Schueler F., Mattern R., Schmidt G. (1985)  
Biomechanische Versuche hinsichtlich des passiven Unfallschutzes von Aufsassen motorisierter Zweiradfahrer beim Anprall gegen Schutzplankenpfosten. *Forschungsbericht des Instituts für Rechtsmed., Universität Heidelberg. Schutzplanken-Produktions-GmbH & Co KG, Schmelz-Limbach, Saarland*.
- Schueler F., Schmidt G. (1986)  
Unfallanalytische und biomechanische Aspekte des Motorradunfalles unter besonderer Berücksichtigung der Funktion von Kraftfahrerschutzhelmen. *Institut für Zweiradsicherheit e.V. Forschungshefte für Zweiradsicherheit, Band 3*.
- Schueler F. (1987)  
Verbesserung von Schutzplanken bezüglich des passiven Unfall-Schutzes von Benutzern motorisierter Zweiradfahrer. in "25 Jahre Stahlschutzplanken", *Studiengesellschaft für Stahlschutzplanken e.V. Siegen*.
- Schueler F., Albrecht E. (1988)  
Untersuchung zu Art und Häufigkeit der Benutzung von Kraftfahrerschutzhelmen und Schutzkleidung durch Aufsassen motorisierter Zweiradfahrer. *FP 8902, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach*.
- Sender B. (1997)  
Auswirkungen von lauter Musik und Alkohol auf die Aktiviertheit und auf verkehrsrelevante Leistungsfunktionen. *Diplomarbeit am Psychologischen Institut der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg*.

- SHOEI Distribution GmbH. (2006)  
Mit Sicherheit mehr Schutz (Firmeninformation). Beilage Zeitschrift Motorrad [08].
- Steinbruchs-Berufsgenossenschaft. (2001)  
Unfallverhütungsvorschrift Lärm in der Fassung vom 1. Januar 1997 mit Durchführungsanweisungen vom Juli 1999 (BGV B3).
- Steinbruchs-Berufsgenossenschaft. (2006)  
Wie wirkt Lärm? [http://www.stbg.de/sich\\_ges/laerm/laerm02.htm](http://www.stbg.de/sich_ges/laerm/laerm02.htm).
- Steyer R., Schwenkmetzger P., Notz P., Eid M. (1997)  
Der Mehrdimensionale Befindlichkeitsfragebogen (MDBF). Handanweisung.
- Stück M., Balzer H. U., Schröder H., Rigotti Th. (2004)  
Psychological and psychophysiological effects of a high mountains expedition to Tibet. *Journal of Human Performance in Extreme Environments*, 42-52.
- Tangorra J., George A. E. (1991)  
Wind noise of motorcycle helmets. 201-228, Institut für Zweiradsicherheit. Internationale Motorrad Konferenz.
- Umweltministerium Baden-Württemberg. (2005)  
Lärmbekämpfung im Betrieb - Leitfaden für den Schutz der Arbeitnehmer vor Lärm am Arbeitsplatz. [http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/15695/Leitfaden\\_Laermschutz\\_%20im\\_Betrieb.pdf?command=downloadContent&filename=Leitfaden\\_Laermschutz\\_%20im\\_Betrieb.pdf](http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/15695/Leitfaden_Laermschutz_%20im_Betrieb.pdf?command=downloadContent&filename=Leitfaden_Laermschutz_%20im_Betrieb.pdf).
- van Faassen F., Stassen E. G. (1976)  
Air Resistance of Crash Helmets. 332-340. International Research Committee on the Biokinetics of Impacts, Amsterdam NL.
- Van Moorhem W. K., Shepherd K. P., Magleby T. D., Torian G. E. (1981)  
The effects of motorcycle helmets on hearing and the detection of warning signals. *Journal of Sound & Vibration* 77[1], 39-49.
- von Löhneysen U. (1982)  
Motorrad Extrablatt Helmtest - 22 Helme in der Zerreißprobe - Schutz: Schlag auf Schlag - Sitz: Zug um Zug - Sicht: Blick nach vorn - Komfort: Hart am Wind. *Zeitschrift Motorrad - Sonderdruck* [8].
- Wells S et al. (2004)  
Motorcycle rider conspicuity and crash related injury: case-control study. *British Medical Journal* Vol. 328.
- Westermeier C. (1999)  
Biofeedback-Therapie bei Schlaf-Apnoe-Syndrom. Eine kontrollierte Einzelfallstudie. Diplomarbeit am Institut für Klinische Psychologie der Universität Mannheim.
- Wong T. W., Yu T. S., Chen W. Q., Chiu Y. L., Wong C. N., Wong A. H., Wong T. W., Yu T. S., Chen W. Q., Chiu Y. L., Wong C. N., Wong A. H. S. (2003)  
Agreement between hearing thresholds measured in non-soundproof work environments and a soundproof booth. *Occupational & Environmental Medicine* 60[9], 667-671.
- World Health Organization. (2006)  
Helmets: a road safety manual for decision-makers and practitioners. Geneva, World Health Organization. [http://www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/publications/road\\_traffic/helmet\\_manual.pdf](http://www.who.int/violence_injury_prevention/publications/road_traffic/helmet_manual.pdf)
- Zeitzen F. (1984)  
Krach im Oberhaus - Hörschäden durch Lärm im Helm? PS - Die Motorrad Zeitung [1], 68-69.
- Zenner H. P. (1999)  
Schwerhörigkeit durch Freizeitlärm (Editorial). *Deutsches Ärzteblatt* 96[16], A-1052-A-1053.



## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

#### Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

### 1993

- F 1: Einfluß der Korrosion auf die passive Sicherheit von Pkw  
Faerber, Wobben € 12,50
- F 2: Kriterien für die Prüfung von Motorradhelmen  
König, Werner, Schuller, Beier, Spann € 13,50
- F 3: Sicherheit von Motorradhelmen  
Zellmer € 11,00
- F 4: Weiterentwicklung der Abgassonderuntersuchung  
Teil 1: Vergleich der Ergebnisse aus Abgasuntersuchung und Typprüfverfahren  
Richter, Michelmann  
Teil 2: Praxiserprobung des vorgesehenen Prüfverfahrens für Fahrzeuge mit Katalysator  
Albus € 13,50

### 1994

- F 5: Nutzen durch fahrzeugseitigen Fußgängerschutz  
Bamberg, Zellmer € 11,00
- F 6: Sicherheit von Fahrradanhängern zum Personentransport  
Wobben, Zahn € 12,50
- F 7: Kontrastwahrnehmung bei unterschiedlicher Lichttransmission von Pkw-Scheiben  
Teil 1: Kontrastwahrnehmung im nächtlichen Straßenverkehr bei Fahrern mit verminderter Tagessehschärfe  
P. Junge  
Teil 2: Kontrastwahrnehmung in der Dämmerung bei Fahrern mit verminderter Tagessehschärfe  
Chmielarz, Siegl  
Teil 3: Wirkung abgedunkelter Heckscheiben - Vergleichsstudie  
Derkum € 14,00
- F 8: Anforderungen an den Kinnschutz von Integralhelmen  
Otte, Schroeder, Eidam, Kraemer € 10,50
- F 9: Kraftschlußpotentiale moderner Motorradreifen unter Straßenbedingungen  
Schmieder, Bley, Spickermann, von Zettlmann € 11,00

### 1995

- F 10: Einsatz der Gasentladungslampe in Kfz-Scheinwerfern  
Damasky € 12,50
- F 11: Informationsdarstellung im Fahrzeug mit Hilfe eines Head-Up-Displays  
Mutschler € 16,50
- F 12: Gefährdung durch Frontschutzbügel an Geländefahrzeugen  
Teil 1: Gefährdung von Fußgängern und Radfahrern  
Zellmer, Schmid  
Teil 2: Quantifizierung der Gefährdung von Fußgängern  
Zellmer € 12,00
- F 13: Untersuchung rollwiderstandsarmer Pkw-Reifen  
Sander € 11,50

### 1996

- F 14: Der Aufprall des Kopfes auf die Fronthaube von Pkw beim Fußgängerunfall – Entwicklung eines Prüfverfahrens  
Glaeser € 15,50
- F 15: Verkehrssicherheit von Fahrrädern  
Teil 1: Möglichkeiten zur Verbesserung der Verkehrssicherheit von Fahrrädern  
Heinrich, von der Osten-Sacken  
Teil 2: Ergebnisse aus einem Expertengespräch „Verkehrssicherheit von Fahrrädern“  
Nicklisch € 22,50
- F 16: Messung der tatsächlichen Achslasten von Nutzfahrzeugen  
Sagerer, Wartenberg, Schmidt € 12,50
- F 17: Sicherheitsbewertung von Personenkraftwagen – Problemanalyse und Verfahrenskonzept  
Grunow, Heuser, Krüger, Zangemeister € 17,50
- F 18: Bremsverhalten von Fahrern von Motorrädern mit und ohne ABS  
Präckel € 14,50
- F 19: Schwingungsdämpferprüfung an Pkw im Rahmen der Hauptuntersuchung  
Pullwitt € 11,50
- F 20: Vergleichsmessungen des Rollwiderstands auf der Straße und im Prüfstand  
Sander € 13,00
- F 21: Einflußgrößen auf den Kraftschluß bei Nässe  
Fach € 14,00

### 1997

- F 22: Schadstoffemissionen und Kraftstoffverbrauch bei kurzzeitiger Motorabschaltung  
Bugsel, Albus, Sievert € 10,50
- F 23: Unfalldatenschreiber als Informationsquelle für die Unfallforschung in der Pre-Crash-Phase  
Berg, Mayer € 19,50

### 1998

- F 24: Beurteilung der Sicherheitsaspekte eines neuartigen Zweiradkonzeptes  
Kalliske, Albus, Faerber € 12,00
- F 25: Sicherheit des Transportes von Kindern auf Fahrrädern und in Fahrradanhängern  
Kalliske, Wobben, Nee € 11,50

### 1999

- F 26: Entwicklung eines Testverfahrens für Antriebsschlupf-Regelsysteme  
Schweers € 11,50
- F 27: Betriebslasten an Fahrrädern  
Vötter, Groß, Esser, Born, Flamm, Rieck € 10,50
- F 28: Überprüfung elektronischer Systeme in Kraftfahrzeugen  
Kohlstruck, Wallentowitz € 13,00

### 2000

- F 29: Verkehrssicherheit runderneuerter Reifen  
Teil 1: Verkehrssicherheit runderneuerter Reifen  
Glaeser  
Teil 2: Verkehrssicherheit runderneuerter Lkw-Reifen  
Aubel € 13,00

- F 30: Rechnerische Simulation des Fahrverhaltens von Lkw mit Breitreifen  
Faber € 12,50
- F 31: Passive Sicherheit von Pkw bei Verkehrsunfällen  
Otte € 12,50
- F 32: Die Fahrzeugtechnische Versuchsanlage der BASt – Einweisung mit Verleihung des Verkehrssicherheitspreises 2000 am 4. und 5. Mai 2000 in Bergisch Gladbach € 14,00
- F 33: Sicherheitsbelange aktiver Fahrdynamikregelungen  
Gaupp, Wobben, Horn, Seemann € 17,00

## 2001

- F 34: Ermittlung von Emissionen im Stationärbetrieb mit dem Emissions-Mess-Fahrzeug  
Sander, Bugsel, Sievert, Albus € 11,00
- F 35: Sicherheitsanalyse der Systeme zum Automatischen Fahren  
Wallentowitz, Ehmanns, Neunzig, Weilkes, Steinauer, Bölling, Richter, Gaupp € 19,00
- F 36: Anforderungen an Rückspiegel von Krafträdern  
van de Sand, Wallentowitz, Schrüllkamp € 14,00
- F 37: Abgasuntersuchung - Erfolgskontrolle: Ottomotor – G-Kat  
Afflerbach, Hassel, Schmidt, Sonnborn, Weber € 11,50
- F 38: Optimierte Fahrzeugfront hinsichtlich des Fußgängerschutzes  
Friesen, Wallentowitz, Philipps € 12,50

## 2002

- F 39: Optimierung des rückwärtigen Signalbildes zur Reduzierung von Auffahrunfällen bei Gefahrenbremsung  
Gail, Lorig, Gelau, Heuzeroth, Sievert € 19,50
- F 40: Prüfverfahren für Spritzschutzsysteme an Kraftfahrzeugen  
Domsch, Sandkühler, Wallentowitz € 16,50

## 2003

- F 41: Abgasuntersuchung: Dieselfahrzeuge  
Afflerbach, Hassel, Mäurer, Schmidt, Weber € 14,00
- F 42: Schwachstellenanalyse zur Optimierung des Notausstiegssystems bei Reisebussen  
Krieg, Rüter, Weißgerber € 15,00
- F 43: Testverfahren zur Bewertung und Verbesserung von Kinderschutzsystemen beim Pkw-Seitenaufprall  
Nett € 16,50
- F 44: Aktive und passive Sicherheit gebrauchter Leichtkraftfahrzeuge  
Gail, Pastor, Spiering, Sander, Lorig € 12,00

## 2004

- F 45: Untersuchungen zur Abgasemission von Motorrädern im Rahmen der WMTC-Aktivitäten  
Steven € 12,50
- F 46: Anforderungen an zukünftige Kraftrad-Bremssysteme zur Steigerung der Fahrsicherheit  
Funke, Winner € 12,00
- F 47: Kompetenzerwerb im Umgang mit Fahrerinformationssystemen  
Jahn, Oehme, Rösler, Krems € 13,50
- F 48: Standgeräuschmessung an Motorrädern im Verkehr und bei der Hauptuntersuchung nach § 29 STVZO  
Pullwitt, Redmann € 13,50

- F 49: Prüfverfahren für die passive Sicherheit motorisierter Zweiräder  
Berg, Rücker, Mattern, Kallieris € 18,00
- F 50: Seitenairbag und Kinderrückhaltesysteme  
Gehre, Kramer, Schindler € 14,50
- F 51: Brandverhalten der Innenausstattung von Reisebussen  
Egelhaaf, Berg, Staubach, Lange € 16,50
- F 52: Intelligente Rückhaltesysteme  
Schindler, Kühn, Siegler € 16,00
- F 53: Unfallverletzungen in Fahrzeugen mit Airbag  
Klanner, Ambios, Paulus, Hummel, Langwieder, Köster € 15,00
- F 54: Gefährdung von Fußgängern und Radfahrern an Kreuzungen durch rechts abbiegende Lkw  
Niewöhner, Berg € 16,50

## 2005

- F 55: 1<sup>st</sup> International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference on 3<sup>rd</sup>/4<sup>th</sup> September 2004 at Hannover Medical School € 29,00

## 2006

- F 56: Untersuchung von Verkehrssicherheitsaspekten durch die Verwendung asphärischer Außenspiegel  
Bach, Rüter, Carstengerdes, Wender, Otte € 17,00
- F 57: Untersuchung von Reifen mit Notlaufeigenschaften  
Gail, Pullwitt, Sander, Lorig, Bartels € 15,00
- F 58: Bestimmung von Nutzfahrzeugemissionsfaktoren  
Steven, Kleinebrahm € 15,50
- F 59: Hochrechnung von Daten aus Erhebungen am Unfallort  
Hautzinger, Pfeiffer, Schmidt € 15,50
- F 60: Ableitung von Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme aus Sicht der Verkehrssicherheit  
Vollrath, Briest, Schießl, Drewes, Becker € 16,50

## 2007

- F 61: 2<sup>nd</sup> International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference on 1<sup>st</sup>/2<sup>nd</sup> September 2006 at Hannover Medical School € 30,00
- F 62: Einfluss des Versicherungs-Einstufungstests auf die Belange der passiven Sicherheit  
Rüter, Zoppke, Bach, Carstengerdes € 16,50
- F 63: Nutzerseitiger Fehlgebrauch von Fahrerassistenzsystemen  
Marberger € 14,50
- F 64: Anforderungen an Helme für Motorradfahrer zur Motorradsicherheit  
Dieser Bericht liegt **nur** in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.  
Schüler, Adolph, Steinmann, Ionescu € 22,00

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH  
Postfach 10 11 10  
D-27511 Bremerhaven  
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0  
Telefax: (04 71) 9 45 44 77  
Email: [vertrieb@nw-verlag.de](mailto:vertrieb@nw-verlag.de)  
Internet: [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de)

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.