

5 Versuchsdesign

Die zur Durchführung und Auswertung der Versuche notwendigen Komponenten werden in diesem Kapitel ausführlich erläutert. Dabei wird auf den Versuchsträger, das Warm-Up, die verwendeten Messsysteme und Messgrößen, das Versuchspersonenkollektiv, die Versuchsstrecke und den Versuchsablauf eingegangen. Angaben über die Datenaufbereitung sowie -analyse finden sich im abschließenden Abschnitt „statistische Auswertung“.

5.1 Versuchsträger

Dieser Abschnitt beschreibt das für die Versuche verwendete Fahrzeug, die für die Simulation notwendige Hard- und Software sowie den während der Versuche verwendeten Namen für die Simulation.

Die Realversuche werden mit einem BMW 328i Touring E46 mit Klimaanlage durchgeführt. Das Fahrzeug verfügt über 2793 cm³ Hubraum, 142 kW Leistung und wurde am 30.07.99 erstmals zugelassen. Es bietet ausreichend Platz, um die Hardwarekomponenten für die Simulation und die Messsysteme aufnehmen zu können. Zur Warnung nachfolgender Verkehrsteilnehmer ist in der Heckscheibe ein Hinweisschild angebracht.



Abbildung 5-1: Zwischen Fahrer und Beifahrersitz montierte Bedieneinheit, die im Wesentlichen aus einem Dreh-Drücksteller und einer separaten Taste für die Rücksprungfunktion besteht. Das Gehäuse kann in Längsrichtung verschoben werden.

Für die Simulation werden als Hardwarekomponenten eine Bedieneinheit, ein Display und ein Rechner benötigt. Die Bedieneinheit wird zwischen Fahrer- und Beifahrersitz hinter dem Automatikhebel und vor der eingebauten Armlehne montiert (vgl. Abbildung 5-1). Damit die Einheit sich für die unterschiedlichen Körpermaße der Versuchspersonen stets in einer anthropometrisch optimalen Position befindet, kann sie in Längsrichtung um etwa 400 mm verschoben werden. Die Bedieneinheit besteht aus den vier Baugruppen Dreh-Drücksteller, Rücksprungtaste, Gehäuse und Bedienknopf. Für die Bedienung der Menüstrukturen, in der die Versuchsaufgaben integriert sind, wird als zentrales Bedienelement ein Dreh-Drücksteller verwendet.

Zum Einsatz kommt dafür der „Center Push Stick Controller“ Typ RKJXT1E12001 der Firma Alps Electric Co., LTD (siehe Abbildung 5-2). Dieser Schalter vereinigt drei Funktionen in sich: Eine Drehfunktion mit einer Rasterung von 12° , eine Drückfunktion und eine Kippfunktion in acht Richtungen. Zusätzlich muss die Bedieneinheit über eine separate Taste für die Rücksprungfunktion auf die höchste Menüebene verfügen. Diese ist für den Fall vorgesehen, dass sich der Anwender in der Struktur verirrt hat und einen einfachen Weg aus seinem Labyrinth sucht. Ein Gehäuse aus Aluminium nimmt alle elektronischen Bauteile auf und gewährleistet die Längsverschiebung im Fahrzeug. Die letzte Baugruppe stellt der Bedienknopf für den Dreh-Drücksteller dar. Dieser ist zweiteilig aus Aluminium gefertigt und innen hohl, um Gewicht zu reduzieren und eine Fehlbedienung des Schalters durch Fahrzeugschütterungen zu verhindern. Der Bedienknopf verfügt über einen maximalen Durchmesser von 52 mm und eine Höhe von 32 mm. Abbildung 5-3 zeigt den Fahrerplatz mit Bedieneinheit und Display. Als Anzeigeelement wird ein TFT-Display mit sieben Zoll Bildschirmdiagonale verwendet. Es wird in der Mitte des Armaturenbretts auf Höhe des Tachometers befestigt. Damit auch bei starker Sonneneinstrahlung der Bildschirm noch gut abzulesen ist, wird eine ausreichend große Sonnenblende angebracht. Die Elektronik des Bedienelements ist über die Schnittstelle RS-232 mit einem Intel Pentium IV Rechner verbunden, der im Kofferraum auf einer gefederten Plattform befestigt ist.



Abbildung 5-2: Verbauter Dreh-Drücksteller (RKJXT1E12001) der Firma Alps. Dieser Controller vereint auf einem Bauraum von 16,8 mm Breite und 6,8 mm Höhe eine Drehfunktion mit einer 12° Rasterung, eine Drückfunktion und eine Kippfunktion in acht Richtungen.



Abbildung 5-3: Fahrzeuginnenraum des Versuchsfahrzeugs mit Bedieneinheit und Display. Der Bildschirm verfügt über eine Sonnenblende und ist in der Mitte des Armaturenbretts auf Höhe des Tachometers montiert.

Simuliert werden die beiden Menüstrukturen mit Hilfe der Software LabView 6.02 der Firma National Instruments unter Windows 98 als Betriebssystem. LabView ist eine Messsoftware, mit der Daten über Messkarten oder serielle Schnittstellen ohne großen technischen Aufwand gelesen und verarbeitet werden können. Die Software kann beliebig auf die jeweiligen Bedürfnisse angepasst werden. In Abhängigkeit von den erhaltenen Signalen der Bedieneinheit generiert LabView die angezeigten Menüebenen.

In Anlehnung an reale Systeme in Automobilfahrzeugen bekommt die Simulation schließlich mit *LfE-Cruise* einen eigenen Namen. Die Abkürzung „LfE“ steht für Lehrstuhl für Ergonomie der TU München. „Cruise“ (engl. = kreuzen) symbolisiert, dass die Versuchsperson bildlich gesprochen durch die Menüstruktur wandern muss. Die Namensgebung erfüllt keinen Selbstzweck, sondern unterstützt vielmehr die realitätsnahe Darstellung der Simulation, da das System den Fahrern als „LfE-Cruise“ vorgestellt wird. Durch die Namensgebung wird die Simulation aus seiner technischen Sonderstellung herausgeführt und von den Versuchspersonen leichter als eigenständiges, realitätsnahes System wahrgenommen.

Zusammenfassend gilt, dass für die Versuche ein BMW E46 zur Verfügung steht, in dem die Komponenten der Simulation LfE-Cruise verbaut sind. Diese umfassen die Bedieneinheit aus Dreh-Drücksteller, Rücksprungtaste, Gehäuse und Bedienknopf sowie die Software und den Steuerungsrechner. Den für die bessere Abbildung der Wirklichkeit notwendige Begriff „LfE-Cruise“ lernen die Versuchsteilnehmer zum ersten Mal bei der Einführung in die Funktionsweise der Menüstrukturen kennen. Hierzu wird ein so genanntes Warm-Up verwendet, dessen Zweck und Aufbau im nächsten Abschnitt erläutert wird.

5.2 Warm-Up

Zur Erklärung des Warm-Ups wird zuerst die dahinter liegende Intuition beschrieben. Im zweiten Schritt werden die sieben Warm-Up Aufgaben aufgeführt.

Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass alle Versuchspersonen die Simulation ohne Einführung sofort bedienen können. Grundprinzipien und -begriffe des Systems sind dem Anwender vor Beginn zu vermitteln. Vor den eigentlichen Versuchsfahrten muss es dem Benutzer möglich sein, sich mit dem LfE-Cruise vertraut zu machen. Diese Einführung darf allerdings nicht mit Hilfe der für die Versuchsaufgaben vorgesehenen Menüstrukturen erfolgen, weil sonst später nur der Lerneffekt bei den Versuchspersonen gemessen würde. Deshalb ist für die Beschreibung des Systems eine eigene Struktur notwendig. Das dafür erstellte Warm-Up bildet die Versuchsaufgaben in einer separaten Menüstruktur ab, ohne diese zu kopieren. Es bestehen zwar die notwendigen Ähnlichkeiten zu den später verwendeten Menüstrukturen. Die im Warm-Up gestellten Aufgaben unterscheiden sich dennoch von den eigentlichen Versuchsaufgaben, um Lerneffekte bei der Bedienung einer speziellen Aufgabenstellung zu vermeiden.

Es stehen im Ganzen die sieben Warm-Up Aufgaben Telefon, Klangeinstellung, Temperatur verstellen, Texteingabe, einfaches Navigationssystem, Fotoalbum und Radio zur Verfügung, die nach Schwierigkeitsgrad geordnet sind und in dieser Reihenfolge den Versuchspersonen erklärt werden. Die Warm-Up Aufgaben stellen sich wie folgt dar. Als erstes wird dem Anwender eine vereinfachte Telefonaufgabe erläutert, weil die Bedienung eines Telefons jedem vertraut ist und so eventuelle

Berührungsgänge abgebaut werden. Um die Telefonoberfläche zu erreichen, ist anders als bei den Versuchsaufgaben bei der Warm-Up Struktur nur ein sequentieller Schritt notwendig. Die Telefonmenüebene ist mit der späteren Versuchsoberfläche identisch. Das Warm-Up Telefon verfügt allerdings über keine zeitlich verzögerte Rückmeldung. Dass es bei den eigentlichen Versuchsfahrten zu einer Verfälschung der Messergebnisse kommen kann, weil durch die gleichen Telefonoberflächen Lerneffekte entstehen, ist nicht zu erwarten. Zum einen ist die Aufgabe per se sehr einfach und intuitiv zu bedienen. Zum anderen wird bei den Versuchsaufgaben der Einfluss der verspäteten Rückmeldung auf die Ablenkung untersucht. Die Warm-Up Aufgabe reagiert jedoch nicht träge, so dass der Proband bei den eigentlichen Versuchen von der säumigen Reaktion des Telefons überrascht werden wird. Die Aufgaben „Klangeinstellung“ und „Temperatur verstellen“ ähneln der Telefonaufgabe und erläutern auf einfache Art wie man schrittweise in immer tiefere Menüebenen vordringen kann. Auch werden damit die speziellen Oberflächen für die Klangeinstellung oder Temperatur vorgestellt. Mit der Aufgabe „Texteingabe“ wird den Versuchspersonen die Eingabe von Text vermittelt. Dies wird für die Bearbeitung der SMS-Aufgabe benötigt. Die Oberfläche für die Texteingabe ist aus der SMS-Aufgabe übernommen. Die Abfolge der Menüebenen sowohl bei der Warm-Up- als auch bei der SMS-Aufgabe kann dagegen nicht miteinander verglichen werden. Die Erklärung des Funktionsprinzips eines Navigationssystems erfolgt mit Hilfe der Warm-Up Aufgabe „einfaches Navigationssystem“. Diese Nachbildung ist eine stark vereinfachte Version des systemergonomisch guten Navigationssystems aus den Versuchsaufgaben. Damit soll das Verstellen der Hausnummer und der Routenwahl prinzipiell erläutert werden. Daher beschränkt sich dieses einfache System auf nur wenige Oberflächen. In der späteren SMS-Aufgabe wird einmal ein sequentieller Schritt simultan dargestellt. Dafür bedarf es einer besonders gestalteten Menüebene, die über zwei Verstellkreise verfügt (vgl. Abbildung 4-9). Diese ist im Warm-Up bei der Aufgabe „Fotoalbum“ nachempfunden. Die Versuchsperson wird aufgefordert im Fotoalbum ein bestimmtes Bild anzusehen und lernt auf diesem Weg die Funktionsweise der speziellen SMS-Oberfläche kennen. Das im Warm-Up verbaute Radio ist eine genaue Kopie des Radios der später gestellten Versuchsaufgaben. Nur die Anzahl und Abfolge möglicher Sender ist im Warm-Up stark vereinfacht. Vorversuche haben gezeigt, dass zum Verständnis der Radioaufgaben diese ausführlich erklärt werden müssen, um die Versuchspersonen mit allen Besonderheiten des Radios vertraut zu machen. Ein die Versuchsergebnisse beeinflussender Lerneffekt, ist in Anbetracht der teilweise sehr schwierigen Bedienung nicht zu erwarten. Nach Bearbeitung der Radioaufgaben im Warm-Up sind dem Benutzer zwar die Systemfunktionen bekannt, aber ein Aufruf dieser erfordert zu diesem Zeitpunkt noch immer einen großen kognitiven Aufwand.

Das Warm-Up stellt demzufolge eine eigene Menüstruktur dar, mit der den Versuchspersonen eine Einführung in das bei den Versuchsfahrten zu bedienende System gegeben wird. Die sieben Aufgaben sind so gestaltet, dass mit dem Warm-Up zwar die Funktionsweise des LfE-Cruise vermittelt wird, den Versuchspersonen aber keine speziellen Bedienabfolgen antrainiert werden.

5.3 Messdatenerfassung

Mit Hilfe subjektiver Einschätzungen durch die Versuchspersonen und objektiver Messdaten sollen die aufgestellten Hypothesen überprüft werden. Dieses Unterkapitel listet die zur Erfassung dieser Messwerte notwendigen Messsysteme

auf. Dafür werden die jeweiligen Messmethoden und die damit bestimmten Messgrößen beschrieben. Der Einbau der Messinstrumente in den Versuchsträger wird am Ende des Abschnitts erläutert.

Zur Ermittlung der Einschätzung durch die Probanden stehen drei Arten von Fragebögen zur Verfügung. Zur Messung der objektiven Daten werden eine Tachometerabtastung, ein Spurhaltebewertungsverfahren, ein automatisches Bedienprotokoll und ein Blickerfassungssystem verwendet.

Die Versuchsteilnehmerdaten und die subjektive Beurteilung der Versuchsaufgaben durch die Teilnehmer werden mit Hilfe von drei Fragebögen erfasst. Der erste Fragebogen wird zu Beginn der Versuche vorgelegt. Hier werden Angaben zur Person, zur Fahrerfahrung, zur Erfahrung mit technischen Systemen und zur aktuellen Gefühlslage nachgefragt. Der zweite Fragebogen wird während der Versuchsfahrt gestellt. Der Fahrer muss dabei für jede gestellte Aufgabe einen Block von vier Fragen beantworten. Diese lauten im Einzelnen:

- „Sie konnten die Aufgabe leicht lösen.“
- „Sie konnten die Spur gut halten.“
- „Sie konnten die Straße gut im Auge behalten.“
- „Sie konnten sich auf das Fahren gut konzentrieren.“

Die Versuchsperson soll damit ihren subjektiven Eindruck von der Aufgabe zum Ausdruck bringen. Bei der ersten Frage wird die Schwierigkeit der gestellten Aufgabe abgefragt und zielt damit auf die Hypothese Sub_1 ab. Die restlichen drei Fragen, bei denen die Probanden ihre Fahrleistung bewerten sollen, dienen der Überprüfung der Annahme Sub_2. Von Interesse ist hierbei die Beurteilung der eigenen Spurhaltung, Blickabwendung und Aufmerksamkeit auf die Fahraufgabe während der Bedienung der tertiären Aufgabe. Nachdem die Fragen während der Fahrt vorgelesen und vom Probanden mündlich beantwortet werden, müssen diese sowohl einfach als auch gut verständlich formuliert sein. Zur einfachen Beantwortung wird der Versuchsperson eine sechsstufige Skala vorgegeben, die an das Schulnotensystem erinnert. Die Erfahrung während der Versuche hat gezeigt, dass sich sehr schnell ein entsprechendes inneres Modell beim Fahrer bildet und die Fragen somit während der Fahrt mühelos zu beantworten sind. Um dieses innere Modell schneller entstehen zu lassen, werden die vier Fragen bereits beim Warm-Up vorgestellt und mit den Übungsaufgaben antrainiert. Der dritte Fragebogen schließt die Versuchsfahrt ab. Hier sind erneut Angaben zur Gefühlslage, zur Versuchsdurchführung und den gestellten Versuchsaufgaben von Interesse.

Bei den Erläuterungen zur Ablenkung (vgl. Kapitel 2.2) wird bereits darauf hingewiesen, dass eine Ablenkung des Fahrers über menschliche Fehler oder menschliche Handlungen indirekt messbar ist. Diese Fehler oder Handlungen können sowohl unmittelbar an der Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine oder mittelbar am Arbeitsergebnis erfasst werden. Ein Teil des Arbeitsergebnisses ist die gefahrene Geschwindigkeit. Es ist zu erwarten, dass das Ergebnis der Längsregelung leidet, wenn durch die schwere Bedienung der Nebenaufgabe kognitive Ressourcen von der Hauptaufgabe „Fahrzeug führen“ abgezogen werden. Dies kann sich in Form einer Geschwindigkeitsänderung oder ungewöhnlichen Längsbeschleunigung ausdrücken. Es bieten sich unterschiedliche Quellen zur Erfassung der gefahrenen Geschwindigkeit an. Die vom Fahrzeug gemessenen

Geschwindigkeitsdaten über den fahrzeuginternen Daten-Bus, dem so genannten CAN-Bus, auszulesen wäre die effektivste Messmethode. Aus messtechnischen Gründen steht jedoch diese Quelle nicht zur Verfügung. Daher wird die Geschwindigkeit direkt über das Tachosignal eingelesen. Der Tachometer des E46 verfügt über ein Ausgangssignal, das an das Radio zur geschwindigkeitsabhängigen Lautstärkenregelung angeschlossen werden kann. Mit Hilfe eines eigenen Messrechners und der Software LabView 6.02 der Firma National Instruments wird das analoge Signal kalibriert und erfasst. Das Signal ist jedoch stark verrauscht und muss mit Hilfe eines geeigneten Filters aufbereitet werden.

Straßentyp	Begrenzungslinie	
	Links	Rechts
Enge Straße ohne Markierung	Straßenbegrenzung	Straßenbegrenzung
Breite Straße ohne Markierung	Gedachte Mittellinie (Die Versuchsperson ist angewiesen sich rechts zu halten)	Straßenbegrenzung
Breite Straße mit Markierung	Mittelstreifen	Straßenbegrenzung

Tabelle 5-1: Zusammenstellung der Definition der Begrenzungslinien zur Bestimmung eines Spurfehlers

Nicht nur die Längsregelung, sondern auch die Querregelung kann durch die Verlagerung der kognitiven Ressourcen beeinflusst werden. Daher werden die vom Fahrer gemachten Spurfehler vom mitfahrenden Versuchsbegleiter mitprotokolliert. Damit eine objektive Vergleichbarkeit der Spurfehler möglich ist, wird dieser wie folgt definiert: *Ein Spurfehler tritt auf, wenn die Versuchsperson ruckartig am Lenkrad reißt oder eine reale oder gedachte linke bzw. rechte Begrenzungslinie nicht willentlich überfährt.* Die Definition der Begrenzungslinien ist in Tabelle 5-1 abhängig vom Straßentyp zusammengestellt.

Auch die Bedienung des LfE-Cruise wird protokolliert. Alle mit dem LfE-Cruise durchgeführten Bedienschritte werden automatisch in ein Protokoll geschrieben und können entsprechend ausgewertet werden. Dafür bieten sich im speziellen vier Kenngrößen an. Erstens kann mit der *Bediendauer* die verstrichene Zeit von Beginn einer definierten Bedienung bis zum Erreichen eines bestimmten Ziels bestimmt werden. Ist zu ermitteln, ob der Anwender über einen für die erfolgreiche Ausführung notwendigen Menüpunkt mit dem Dreh-Drücksteller hinausdreht, bietet sich die Kenngröße *Überdrehen* an. Diese misst den Wechsel der Drehrichtung innerhalb einer Menüebene. Mit dem Parameter *falsche Menüauswahl* wird die irrtümliche Selektion einer Menüoption registriert. Zuletzt ergibt die Kenngröße *Bedienfehlerquotient* ein Maß für die fehlerfreie Bedienung einer Aufgabe innerhalb eines frei zu definierenden Bedienabschnitts. Dafür wird die Anzahl der von der Versuchsperson gemachten Bedienschritte durch die notwendige Mindestanzahl an Bedienschritten geteilt. Der Bedienfehlerquotient ergibt den Wert eins, wenn keine unnötigen Bedienschritte durchgeführt werden. Je mehr der Quotient größer eins ist, desto mehr Fehler werden bei der Bedienung gemacht. Dabei gehen ein Überdrehen oder das Auswählen einer falschen Menüebene in den Bedienfehlerquotienten genauso ein, wie das Herumirren in einem falschen Menüweig.



Abbildung 5-4: Versuchsperson mit JANUS-Helm im Versuchsfahrzeug. JANUS verfügt über zwei Kameras, mit denen die Blickrichtung des Probanden bestimmt werden kann.

Schließlich wird die Blickbewegung des Fahrers mittels des am Lehrstuhl für Ergonomie der TU München entwickelten Blickerfassungssystems JANUS gemessen. Das JANUS-System besteht aus einem leichten Helm mit zwei kleinen Videokameras. Mit der montierten Farbkamera wird die Blickrichtung der Versuchsperson aufgezeichnet. Eine s/w Kamera filmt die Augenbewegung des rechten Auges über einen Strahlteiler. Eine Versuchsperson mit aufgesetztem Helm im Versuchsfahrzeug ist in Abbildung 5-4 abgelichtet. Die beiden getrennt aufgenommenen Videobänder werden mit einem Blitzsignal synchronisiert und im Labor zu einem Blickfilm überlagert. Mit diesem kann die Blickrichtung des Probanden bestimmt werden, da die Pupille im Blickfilm über dem betrachteten Bildelement liegt. JANUS hat sich bei vielen Versuchen im Kraftfahrzeug sehr bewährt. Die Stärke des Systems liegt vor allem in der Robustheit gegenüber Störlicht, wie es häufig im Auto vorkommen kann. Allerdings ist die bei der Betrachtung von sehr nahen Elementen zu erzielende Auflösung nicht ausreichend, um eindeutig unterscheiden zu können, welcher Menüpunkt auf dem Display von der Versuchsperson betrachtet wird. Für die Auswertung der Blickdaten ist es notwendig, so genannte *Areas-of-interest* (AOI) zu definieren, um die gemessenen Blicke kategorisieren zu können. Als AOI werden das Display, die Verkehrssituation und der Tachometer festgelegt. Blicke in den Rückspiegel werden ebenfalls der Verkehrssituation zugeordnet. In Verbindung mit der Blickerfassung und den AOIs können die fünf Kenngrößen *Blickzahl* n , *kumulierte Blickdauer* BD , *durchschnittliche Blickdauer* BD_{avg} , *minimale Blickdauer* BD_{min} oder *maximale Blickdauer* BD_{max} bestimmt werden. Die Blickzahl n entspricht der Anzahl der Blicke auf ein AOI für einen zu definierenden Zeitraum. Die kumulierte Blickdauer BD ist die Summe der einzelnen Blickdauern BD_i auf ein AOI im betrachteten Zeitabschnitt. Die durchschnittliche Blickdauer BD_{avg} berechnet sich aus der kumulierten Blickdauer dividiert durch die Blickzahl. Die kürzeste Blickdauer auf ein AOI innerhalb eines festgelegten Zeitraums entspricht der minimalen Blickdauer BD_{min} . Analog dazu ist die maximale Blickdauer BD_{max} definiert. Zur Bestimmung der Ablenkung sind im Wesentlichen die drei Kenngrößen kumulierte, maximale und durchschnittliche Blickdauer bezogen auf das Display von Interesse. Damit wird bestimmt, wie lange

der Fahrer insgesamt, maximal und im Schnitt pro gestellter tertiärer Aufgabe seine Aufmerksamkeit von dem Verkehrsgeschehen abwendet.



Abbildung 5-5: Einbau der Videoaufzeichnungsgeräte des JANUS-Systems und der Steuerungsgeräte für das LfE-Cruise auf der Rückbank des Versuchsfahrzeugs. Mit dem innen eingebauten Rückspiegel kann der Versuchsbegleiter den nachfolgenden Verkehr im Auge behalten. Der JANUS-Helm ist zum Transport aufgehängt.



Abbildung 5-6: Einbau der Messcomputer im Kofferraum. Rechts und links sind die elektrischen Einbauten zu erkennen, die auch bei einem abgestellten Motor noch die Stromversorgung sichern.

Die zur Erfassung der Messdaten notwendige Messausrüstung wird auf der Rückbank und im Kofferraum des Versuchsfahrzeugs verbaut. Hierbei sind vier Grundsätze zu beachten. Erstens soll, soweit es mit dem Messhelm möglich ist, für die Versuchsperson eine normale Fahrsituation geschaffen werden. Eine Beeinflussung der Probanden durch die Messinstrumente ist weitgehend zu vermeiden. Zweitens müssen die Messsysteme gegen Verrutschen gesichert sein, damit von diesen bei einer Vollbremsung oder einem Unfall keine Gefahr ausgehen kann. Drittens ist die Messausrüstung für den Versuchsbegleiter ergonomisch anzuordnen, damit er sich uneingeschränkt auf die Versuchsperson konzentrieren kann und eine gleich bleibend gute Messdatenerfassung gewährleistet ist. Viertens

muss für eine konstante Stromversorgung der Messgeräte gesorgt werden. Durch einen abgestellten Motor darf es zu keinen Systemabstürzen während der Versuchsfahrten kommen. Mittels einer zweiten Autobatterie und einer geeigneten elektrischen Schaltung ist die Stromversorgung dauerhaft sichergestellt. Abbildung 5-5 und Abbildung 5-6 zeigen die im Fahrzeug verbauten Messgeräte.

Abschließend ist festzuhalten, dass neben den Fragebogendaten die gefahrene Geschwindigkeit, die Spurtreue, die Bedienung des LfE-Cruises und die Blickdaten erfasst werden. Die Bedienung und das Blickverhalten werden mit speziellen Kenngrößen detaillierter beschrieben. Als AOIs für die Blickuntersuchung sind die Bereiche Display, Verkehrssituation und Tachometer definiert. Zur Bestimmung der Ablenkung ist dabei der Blick auf das Display von Hauptinteresse. Die notwendige Messausrüstung ist auf der Rücksitzbank und im Kofferraum des Versuchsträgers montiert.

5.4 Versuchspersonenkollektiv

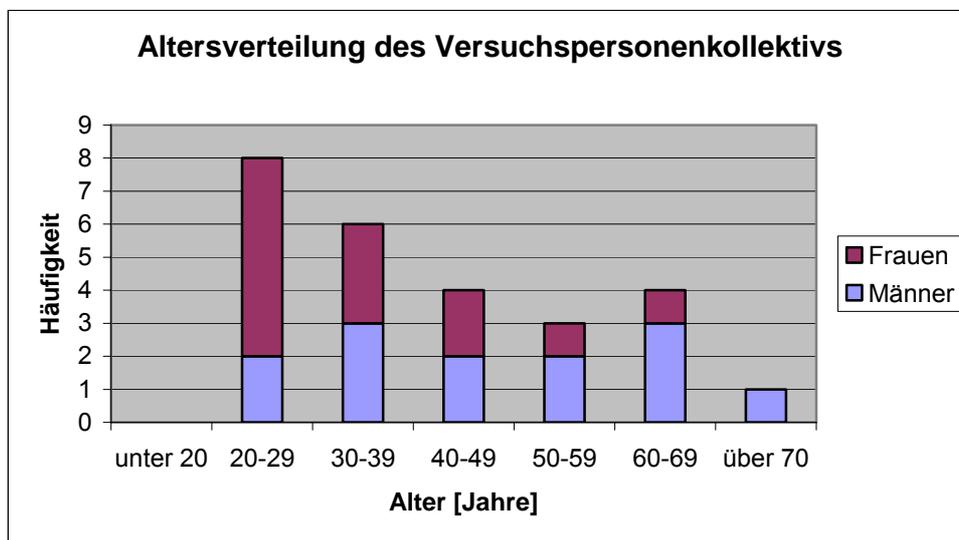


Abbildung 5-7: Altersverteilung des Versuchspersonenkollektivs

Die Zusammenstellung des Versuchspersonenkollektivs ist Gegenstand dieses Abschnittes. Das Kollektiv umfasst insgesamt 26 Probanden, wobei die Anzahl von Männern und Frauen genau gleich ist. Die Altersverteilung der Versuchsteilnehmer kann der Abbildung 5-7 entnommen werden. Das Altersspektrum reicht von 21 bis 77 Jahren und beträgt bei einer Standardabweichung von 16,2 Jahren im Mittel 40,8 Jahre.

Die Versuchspersonen sind aus dem Bekannten und Verwandtenkreis der an der Versuchsdurchführung Beteiligten rekrutiert. Dadurch ist gewährleistet, dass auch Personengruppen herangezogen werden, die sich normalerweise für Fahrversuche nicht zur Verfügung stellen. Gleichzeitig zeichnet sich dieses Versuchspersonenkollektiv durch eine hohe Motivation aus. Über die genauen Hintergründe der Versuchsfahrten und des Versuchsdesigns bleiben die Teilnehmer uninformatiert. Sie werden nur darauf hingewiesen, dass unterschiedliche Systemausprägungen hinsichtlich der Bedienbarkeit getestet werden und ihre

persönlichen Fahrleistungen nicht auf dem Prüfstand stehen. Als Ausgleich bekommen die Versuchspersonen ein Honorar von € 30,- ausbezahlt.

Die Fahrerfahrung und Erfahrung mit technischen Geräten ist gleichmäßig verteilt. Mit Automatikgetriebe sind bereits fünfzehn Personen gefahren. Die restlichen Teilnehmer kommen nach einer kurzen Gewöhnungsfahrt gut damit zurecht. Bis auf einen Versuchsteilnehmer handelt es sich bei allen um Rechtshänder. Der einzige Linkshänder hat aber keine Schwierigkeiten den Dreh-Drücksteller zu bedienen.

Abschließend kann somit festgehalten werden, dass es sich bei dem beteiligten Versuchspersonenkollektiv um einen gleichmäßigen Querschnitt von Autofahrern handelt.

5.5 Versuchsstrecke

An die Versuchsstrecke werden im Wesentlichen vier Hauptanforderungen gestellt, aus denen zwölf weitere Einzelanforderungen resultieren. Diese Forderungen werden im Anschluss näher erläutert. Die diesbezüglich gewählte Strecke wird am Ende schematisch dargestellt.

Folgende vier Hauptanforderungen sind bei der Auswahl der Versuchsstrecke zu berücksichtigen. Erstens müssen die Streckenabschnitte, auf denen die Versuchsaufgaben zu bearbeiten sind, in ihrer Beschaffenheit zueinander sehr ähnlich sein, damit die Messdaten miteinander vergleichbar sind. Zweitens muss die Versuchsstrecke das potenzielle Unfallrisiko auf ein akzeptables Mindestmaß reduzieren. Drittens darf die gestellte Fahraufgabe nicht zu einfach sein, soll aber gleichzeitig den Fahrer in Verbindung mit der gestellten Zusatzaufgabe nicht überfordern. Schließlich muss die Versuchsstrecke die Durchführung der Versuchsreihe technisch unterstützen und beispielsweise leicht erreichbar sein.

Basierend auf diesen vier Punkten können folgende zwölf Einzelanforderungen abgeleitet werden. Die Versuchsstrecke soll erstens möglichst nur aus geraden Streckenabschnitten bestehen. Sollten Kurven auf der Route vorkommen, müssen diese zweitens lang gezogen und gut einsehbar sein. Drittens dürfen nur Vorfahrtsstraßen befahren werden. Viertens sind Streckenabschnitte normaler Fahrbahnbreite zu fordern. Damit bieten die Abschnitte einen ausreichenden Sicherheitsbereich für auftretende Spurfehler und erleichtern das detektieren dieser Abweichungen. Die Straße muss fünftens eine mindestens gute Fahrbahnbeschaffenheit aufweisen. Ein unruhiger Asphalt erschwert das Bedienen des Dreh-Drückstellers und birgt die Gefahr in sich, dass die Messsysteme Schaden nehmen. Die sechste Einzelanforderung verlangt wenig Verkehr auf den Streckenabschnitten aus drei Gründen. Zum einen stellen Gegen- und Mitverkehr für die Versuchsperson eine zusätzliche Ablenkung dar. Zum anderen wird damit die Vergleichbarkeit der Daten erschwert. Außerdem wird das Unfallrisiko durch den Zusatzverkehr erhöht. Auf Ortsdurchfahrten ist siebtens weitgehend zu verzichten. Auf Grund der erhöhten Populationsdichte und des verstärkten Verkehrsaufkommens stellen diese eine gesteigerte Unfallgefahr dar. Achters dürfen keine Wohnhäuser am Straßenrand stehen. Ähnlich wie bei Ortsdurchfahrten ist zu befürchten, dass wegen der erzwungenen Ablenkung durch die Versuchsaufgaben Personen übersehen werden, die auf die Fahrbahn laufen. Neuntens müssen die Verbindungen zwischen den einzelnen Streckenabschnitten, auf denen die Aufgaben getestet werden, die Versuchsdurchführung unterstützen. Das bedeutet, sie dürfen nicht zu lang sein, um keine Versuchszeit zu verschwenden. Gleichzeitig sollte bei diesen

Verbindungen bevorzugt nach Rechts abgebogen werden. Beim Linksabbiegen ist ein extremer Schulterblick notwendig, durch den der Messhelm verrutschen könnte. Eine mögliche Verfälschung der Blickmessung wäre die Folge. Zehntens hat die Versuchsstrecke insgesamt nahe am Ausgangspunkt zu liegen, um unnötige Anfahrtszeiten zu vermeiden. Elftens sind ausreichend lange Streckenabschnitte notwendig, auf denen langwierige Versuchsaufgaben bei einer durchschnittlich gefahrenen Geschwindigkeit von 50 km/h bedient werden können. Zuletzt schließt die zwölfte Anforderung Versuchsfahrten auf der Autobahn, im Stadtverkehr oder auf ausgebauten Landstraßen aus Sicherheitsgründen aus. Für die Ergebnisse stellt die Versuchsdurchführung auf einfachen Landstraßen keinen Nachteil dar. Es genügt, wenn der Fahrer mit einer Fahraufgabe belastet wird, die eine ausreichende Anzahl von Ressourcen bindet, so dass eine Ablenkung zu messen ist, ohne das Unfallrisiko unnötig zu erhöhen.

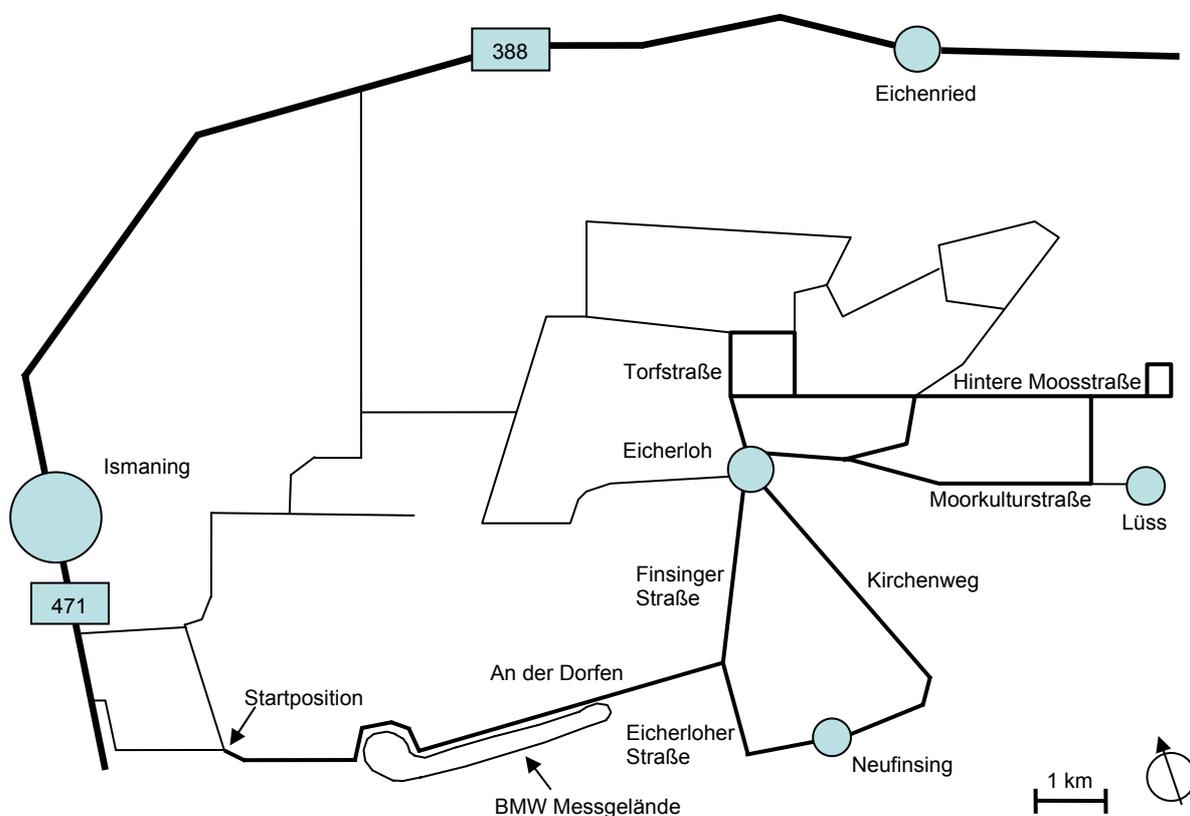


Abbildung 5-8: Schematische Darstellung der Versuchsstrecke, die östlich von Ismaning liegt. Auf den dick gezeichneten Streckenabschnitten rund um Eicherloh werden die Versuchsaufgaben gestellt.

Die gewählte Versuchsstrecke ist in Abbildung 5-8 schematisch dargestellt. Diese befindet sich im Erdinger Moos östlich von Ismaning und erfüllt alle gestellten Anforderungen ideal. Alle Streckenabschnitte ähneln sich sehr, so dass die erfassten Messdaten miteinander vergleichbar sind. Die ausgewählten Straßen sind kaum befahren und die Umgebung ist dünn besiedelt, so dass kein erhöhtes Unfallrisiko herrscht. Die durch die Streckeneigenschaften an den Fahrer gestellte Fahraufgabe kann als normal schwer eingestuft werden. Insgesamt liegt die Strecke etwa fünfzehn

Autominuten vom Ausgangspunkt der Versuchsfahrten entfernt. Eine Distanz, die in ausreichender Zeit zurückgelegt werden kann aber ebenso genügend Gelegenheit bietet, den Probanden an das Fahrzeug und den Messhelm zu gewöhnen. Die in der Karte (vgl. Abbildung 5-8) dick hervorgehobenen Strecken um Eicherloh und Neufinsing stellen die verwendeten Straßen dar. In dem gering bewohnten Gebiet handelt es sich insgesamt um einfache, normal ausgebaute Landstraßen mit überwiegend landwirtschaftlichem Verkehr mit guter bis sehr guter Fahrbahnbeschaffenheit. Der Großteil der Streckenabschnitte verfügt über keine Fahrbahnmarkierung. Das Gebiet ist gekennzeichnet durch absolut gerade Streckenabschnitte mit fast sechs Kilometern Länge. Die dabei selten vorkommenden Kreuzungen gewähren den Versuchsfahrern stets Vorfahrt und eine gute Straßeneinsicht.

Die einzelnen Streckenabschnitte werden pro Versuchsperson mehrfach verwendet. Eine Störung der Ergebnisse auf Grund von auftretenden Lerneffekten ist hierbei nicht zu erwarten. Vorversuche haben gezeigt, dass durch die Bearbeitung der Versuchsaufgaben Streckendetails nur am Rande wahrgenommen werden und die Probanden sich nicht erinnern können, ob der Streckenabschnitt bereits befahren worden ist. Die Reihenfolge der befahrenen Streckenabschnitte wird, soweit es technisch möglich ist, zusätzlich permutiert. Eine genaue Beschreibung des Versuchsablaufs befindet sich im nächsten Unterkapitel.

5.6 Versuchsablauf

Die Versuche werden im Zeitraum vom 29.05.2003 bis zum 16.06.2003 gefahren. An allen Versuchstagen herrscht sonniges Wetter mit etwa gleich starkem Verkehrsaufkommen. Die Versuchsfahrten können daher unter dem Aspekt der äußeren Bedingungen ohne Einschränkungen verglichen werden. Der Versuchsablauf kann im Ganzen in die sechs Abschnitte Begrüßung, Eingangsfragebogen, Systemeinführung, Gewöhnungsfahrt, Versuchsfahrt und Abschlussfragebogen untergliedert werden. Diese sind nachfolgend ausführlich erläutert.

Zu Beginn einer Versuchsfahrt steht die Begrüßung der Versuchsperson. Es erfolgt eine kurze Einführung in den Zweck der Versuche. Hierbei wird der Proband darauf hingewiesen, dass nicht der Teilnehmer selbst sondern die unterschiedlichen Ausprägungen verschiedener technischer Systeme auf dem Prüfstand stehen. Des Weiteren wird der Fahrer aufgeklärt, dass die Sicherheit immer im Vordergrund steht. Sollte eine Aufgabe dem Probanden als zu schwer oder gefährlich erscheinen, kann diese jederzeit abgebrochen werden. Es besteht niemals der Zwang, eine gestellte Versuchsaufgabe zu Ende bringen zu müssen.

Nachdem vom Fahrer der Besitz eines gültigen Führerscheins bestätigt ist und keine Fragen zu den allgemeinen Versuchsbedingungen mehr bestehen, wird der Eingangsfragebogen vorgelegt. Hier werden Angaben zur Person, Fahrerfahrung, Erfahrung mit technischen Systemen und augenblicklichen Gefühlslage erfragt.

Als nächstes erhält der Teilnehmer eine ausführliche Einführung in das System. Es wird das Versuchsfahrzeug mit allen Messeinrichtungen vorgestellt und die Bedienung des Fahrzeugs beschrieben. Der Fahrer wird aufgefordert, Sitz, Lenkrad, Rückspiegel und die Bedieneinheit des LfE-Cruises auf seine Bedürfnisse einzustellen. Nach diesen Anpassungen wird das Funktionsprinzip des LfE-Cruises mit Hilfe des Warm-Ups erklärt. Dabei wird ein Lernen durch Handeln verfolgt und

die Versuchsperson aufgefordert, selbständig das System zu bedienen. Ist das Prinzip der Menüstruktur verstanden, werden exemplarisch für die späteren Versuchsaufgaben zehn Aufgaben mit dem Warm-Up im Stand durchgespielt. In diesem Zusammenhang müssen auch die vier Fragen zur Aufgabe beantwortet werden, um ein entsprechendes inneres Model für die Fragestellung und vorhandene Antwortskala aufzubauen. Das Aufsetzen des JANUS-Helms und Anpassen der beiden Kameras schließen den zweiten Versuchsabschnitt ab.

Die Gewöhnungsfahrt findet auf dem Weg zur Versuchsstrecke statt. Ziel ist es, den Probanden an den JANUS-Helm und das Fahrzeug zu gewöhnen. Eine Bedienung des LfE-Cruise ist zu diesem Zeitpunkt nicht vorgesehen.

Am Startpunkt der Versuchsstrecke angekommen, beginnt die eigentliche Versuchsfahrt. Als erstes wird der JANUS-Helm kalibriert und zufällig eine der beiden Menüstrukturen im Stand geladen. Sind alle Messsysteme gestartet, wird die Fahrt begonnen. Auf den einzelnen Streckenabschnitten werden der Versuchsperson die Versuchsaufgaben in einer permutierten Reihenfolge gestellt. Die Aufgabenstellung und die Aufgabenausführung folgen hierbei immer einem gleichen Schema. Ist ein ausreichend langer Versuchsstreckenabschnitt erreicht und die Strecke frei, liest der Versuchsbegleiter die Aufgabenstellung laut und deutlich vor. Während des Vorlesens darf die Versuchsperson noch nicht mit der Aufgabe beginnen. Anschließend ertönt als Startzeichen für die Bearbeitung vom System ein „Bitte!“. Die Versuchsperson muss allerdings nicht sofort bei diesem Signal mit der Aufgabenbearbeitung anfangen, sondern kann die Bedienschritte vorüberlegen oder bei Verkehr einen besseren Zeitpunkt abwarten. Treten Probleme bei der Erfüllung der Aufgabenstellung auf, gibt die Versuchsbegleitung nur eingeschränkt eine Hilfestellung. Wird ein Teil der Aufgabenformulierung, wie etwa die zu wählende Telefonnummer, vergessen, wird dieser vom Versuchsbegleiter wiederholt. Die notwendigen Bedienschritte werden dagegen nicht verraten. Spurfehler, die parallel zur Bearbeitung der Versuchsaufgabe auftreten, werden von der Versuchsbegleitung mitprotokolliert. Sobald das Aufgabenziel durch die Versuchsperson erreicht ist, erklingt vom System ein „Danke!“ und das Menü springt automatisch zur obersten Menüebene zurück. Im Anschluss muss jede Aufgabe mit den vorgestellten vier Fragen von der Versuchsperson bewertet werden. Erklärt die Versuchsperson die Aufgabe als zu schwierig und nicht lösbar, wird die Aufgabe abgebrochen und als ungelöst im Versuchsprotokoll vermerkt. Eine Bewertung der Aufgabe durch den Probanden ist in diesem Fall dennoch erforderlich. Schließlich hält der Versuchsbegleiter im Protokoll fest, ob freier Verkehr vorherrschte, eine Hilfestellung gegeben wurde oder sonstige Besonderheiten aufgetreten sind. Ist die erste Menüstruktur abgearbeitet, wird bei stehendem Fahrzeug der Janushelm nachkalibriert und die übrig gebliebene Menüstruktur geladen. Wieder werden die Aufgaben nach dem gleichen Schema gestellt und durch die Versuchsperson bewertet. Während der gesamten Versuchsfahrt überwacht die Versuchsbegleitung parallel die Verkehrssituation und weist den Fahrer auf mögliche Gefahren hin. Nähert sich unbemerkt ein anderes Fahrzeug, wird der Fahrer durch: *„Auf den Verkehr achten!“* gewarnt. Bei einer Überschreitung der Höchstgeschwindigkeit gibt es ein: *„Auf die Höchstgeschwindigkeit achten!“*. Kommt es zu einem deutlichen und gefährlichen Spurfehler, wird die Versuchsperson mit *„Bitte die Spur halten!“* ermahnt. Insgesamt gilt für die Fahrten mit gleichzeitiger Bedienung einer Versuchsaufgabe aus Sicherheitsgründen die Geschwindigkeitsvorgabe von 50 km/h. Diese darf auf keinen Fall überschritten werden. Ein Unterschreiten ist

dagegen erlaubt. Gleichzeitig sind die Versuchspersonen bei breiten Straßen ohne Fahrbahnmarkierung aufgefordert, die Spur auf der rechten Seite der Straße zu halten.

Wurden alle Versuchsaufgaben mindestens einmal gestellt, sind die Versuchsfahrten abgeschlossen und enden mit der Rückkehr zum Ausgangspunkt. Hier muss vom Versuchsteilnehmer noch ein Abschlussfragebogen ausgefüllt werden, der nach der augenblicklichen Gefühlslage und den Eindrücken zur Versuchsdurchführung sowie zu den gestellten Aufgaben fragt. Am Ende wird der Versuchsperson die vorgesehene Vergütung ausbezahlt.

Insgesamt dauert die Versuchsdurchführung mit Begrüßung, Eingangsfragebogen, Systemeinführung, Gewöhnungsfahrt, Versuchsfahrt und Abschlussfragebogen im Schnitt etwa drei Stunden. Für alle Versuchsfahrten gilt, dass diese immer nach einem gleichen Schema ablaufen und die Sicherheit zu jedem Zeitpunkt im Vordergrund steht.

5.7 Statistische Auswertung

Sind alle Versuchsfahrten durchgeführt und die Messwerte erfasst, müssen diese statistisch ausgewertet werden. Dafür sind zum einen die Datenaufbereitung und zum anderen die Datenanalyse notwendig. Bei der Datenaufbereitung müssen zuerst die ermittelten Werte zusammengefasst, synchronisiert und gefiltert werden, damit diese im zweiten Schritt bei der Datenanalyse hinsichtlich von Unterschieden zwischen verschiedenen Aufgabenausprägungen untersucht werden können. Beide Bereiche der statistischen Auswertung werden in den nachfolgenden Abschnitten beschrieben.

5.7.1 Datenaufbereitung

Mit der Datenaufbereitung sollen die Messwerte für eine statistische Auswertung vorbereitet werden. Die Datenaufbereitung umfasst zwei Bereiche. Einerseits werden die Antworten aus den Fragebögen zusammengefasst und andererseits werden die objektiven Messdaten synchronisiert, relevante Versuchsabschnitte extrahiert und der statistischen Analyse zugeführt.

Die Antworten der Fragebögen werden im ersten Schritt numerisch codiert und in Microsoft Excel 2002 übertragen. Hiermit können entsprechende Häufigkeitsverteilungen graphisch erstellt werden. Fragebögen, die offensichtlich ohne Motivation ausgefüllt worden sind und beispielsweise bei allen Fragen stets die gleichen Antworten aufweisen, gehen in die Datenauswertung nicht ein. Zur statistischen Analyse werden die Fragebogendaten in das Statistikprogramm SPSS für Windows 11.5 übertragen. Dieses Programm hat den Nachteil, für die Kennzeichnung einer Datenspalte nur acht Zeichen verarbeiten zu können. Deshalb müssen bei der Zusammenfassung der Fragebögen zur näheren Erklärung zusätzlich noch so genannte Wertelabels erstellt werden.

Weitaus umfangreicher stellt sich die Datenaufbereitung der objektiven Messdaten dar. Zu diesen Daten zählen die Messwerte aus dem Tachosignal, der Spurfehlerbeobachtung, dem Bedienprotokoll und dem Blickerfassungssystem. Wie bereits erwähnt, müssen für die statistische Auswertung die Daten synchronisiert und entscheidende Versuchsabschnitte extrahiert werden. Vor der genauen Erläuterung

der Datenaufbereitung der objektiven Messwerte, werden die möglichen Versuchsabschnitte näher beschrieben.

Sollen Aufgabenvarianten auf Unterschiede untersucht werden, ist es erforderlich drei Arten von Aufgabensequenzen zu definieren, die miteinander vergleichbar sind. Als erstes steht die Aufgabe per se. Diese entspricht der Sequenz ab der ersten Bedienung bis zur Erfüllung der Aufgabe. Als zweites können einzelne Aufgabenabschnitte miteinander verglichen werden. Diese Sequenzen umfassen den Moment ab erstmaliger Betätigung eines bestimmten Menüpunktes einer festgelegten Menüebene bis zur letzten Betätigung eines weiteren Menüpunktes oder bis zur Aufgabenerfüllung. Die kürzeste Sequenz bewegt sich schließlich innerhalb einer Menüebene und ist durch das Betreten und Verlassen dieser festgelegt. Je nach Aufgabentyp stehen unterschiedliche Aufgabensequenzen im Vordergrund. Die Versuchsaufgabe „Bass/Höhen verstellen im Radio“, mit der der Einfluss unterschiedlich vieler sequentieller Schritte untersucht wird, verlangt nach der gesamten Betrachtung der Aufgabe. Bei den Bordcomputeraufgaben, die hinsichtlich einer simultanen und sequentiellen Bedienung differieren, ist die abschnittsweise Analyse notwendig, während bei Fragen zur Anzahl von simultanen Auswahlmöglichkeiten einzelne Menüebenen verglichen werden. Die Versuchsaufgabe „Temperatur verstellen (Typ1)“ ist dafür ein Beispiel.

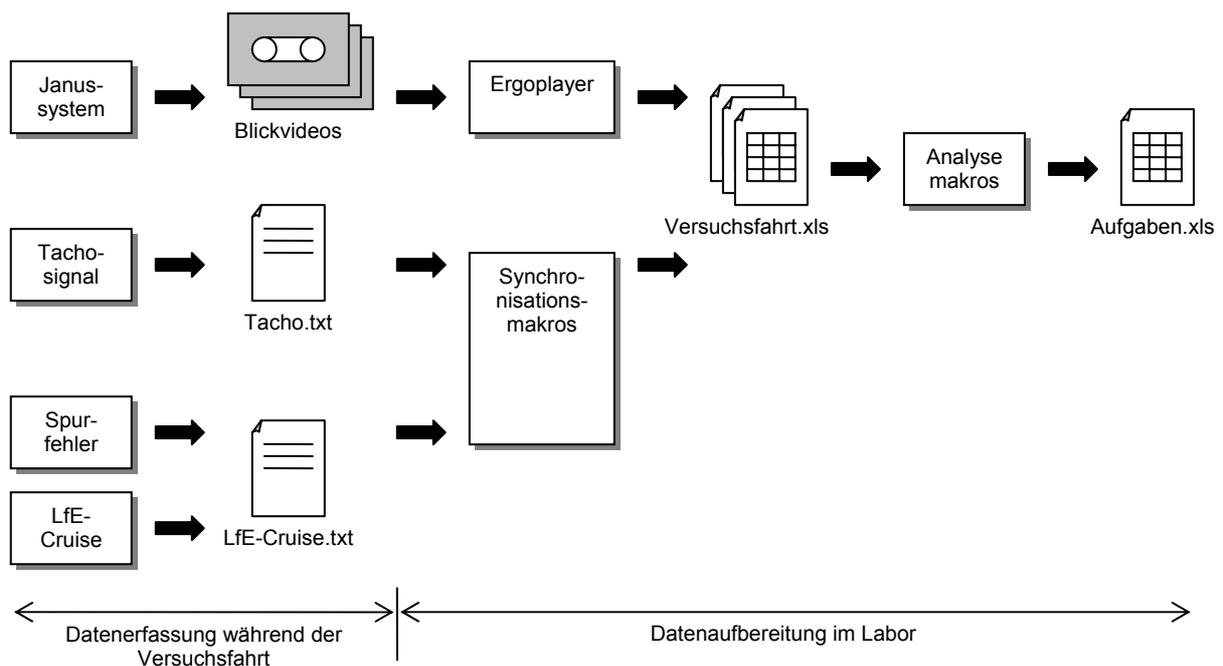


Abbildung 5-9: Schaubild zur Darstellung der Datenerfassung während der Versuchsfahrt und der anschließenden Datenaufbereitung im Labor

Abbildung 5-9 zeigt den Zusammenhang von Datenerfassung und anschließender Datenaufbereitung im Labor. Das Janusystem liefert Blickfilme auf denen die Pupillenbewegung und die Blickrichtung zu erkennen sind. Mit Hilfe der am LfE entwickelten Software Ergoplayer können diese Videos analysiert und die Blickbewegungen zeitlich vermessen werden. Die Werte dieser Analyse werden in eine Excel-Datei (Versuchsfahrt.xls) geschrieben. Das Tachosignal generiert eine eigene Textdatei (Tacho.txt). Die erfassten Spurfehler und die Bedienung des LfE-

Cruises werden in eine Protokolldatei in Textformat (LfE-Cruise.txt) aufgezeichnet. Mit Hilfe von Synchronisationsmakros, die auf Synchronisationssignale innerhalb der jeweiligen Messwerte zurückgreifen, können diese beiden Textdateien zu der mit dem Ergoplayer erstellten Excel-Datei hinzugefügt werden. Diese Datei enthält nun alle Messwerte einer Versuchsfahrt. Führt man diese Schritte für alle Versuchspersonen durch, ergibt sich ein Satz von Dateien mit allen Messwerten der Versuchsreihe. Im nächsten Schritt extrahieren Analysemakros aus allen Versuchsfahrtendateien die entsprechenden Aufgabensequenzen, berechnen die vorgesehenen Kenngrößen und schreiben diese in eine Aufgabendatei (Aufgaben.xls). In diese wird zusätzlich für jede Versuchsaufgabe und jeden Probanden mit Hilfe des Versuchsprotokolls vermerkt, ob die Aufgabe gelöst wurde, freie Fahrt herrschte oder eine Hilfestellung gegeben wurde.

Allgemein gehen von den Versuchspersonen nicht vollständig erfüllte Aufgaben in die spätere Auswertung nicht ein. Die so erstellte Aufgabendatei dient schließlich einerseits der Erstellung von Diagrammen mit Microsoft Excel 2002 und kann andererseits nach generieren geeigneter Wertelabels in das Statistikprogramm SPSS eingelesen werden. Beides sind Voraussetzungen für die statistische Datenanalyse.

5.7.2 Datenanalyse

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit den statistischen Methoden zur Analyse der aufbereiteten Daten. Für die Auswertung werden Verfahren der deskriptiven Statistik und der Inferenzstatistik angewendet, die hier nur kurz erläutert werden können. Für genauere Angaben wird auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen (z.B. Bortz 1993).

Hinsichtlich der deskriptiven Statistik werden das arithmetische Mittel, Minimum, Maximum und die Standardabweichung bestimmt. Das arithmetische Mittel (\bar{x}) ist die Summe aller Werte dividiert durch die Anzahl aller Werte. Minimum und Maximum sind die jeweils kleinsten und größten Werte einer Verteilung. Die Standardabweichung (s) ist ein Maß zur Kennzeichnung der Variabilität einer Verteilung und ist der positive Wert der Quadratwurzel der Varianz (s^2). Die Varianz berechnet sich aus der Summe der quadrierten Abweichungen aller Messwerte vom arithmetischen Mittel, dividiert durch die Anzahl aller Messwerte. Für eine Normalverteilung gilt, dass zwischen den Werten $\bar{x} + s$ und $\bar{x} - s$ genau 68,26 % aller Fälle liegen.

Zum Verständnis der Inferenzstatistik wird knapp auf einige Grundbegriffe eingegangen, bevor die verwendeten Verfahren und die Bonferoni-Korrektur vorgestellt werden.

Zur Überprüfung einer Theorie sind Hypothesen zu formulieren. In der Statistik wird zwischen Unterschieds- und Zusammenhangshypothesen unterschieden. Unterschiedshypothesen werden im Allgemeinen mit Häufigkeits- bzw. mit Mittelwertsvergleichen und Zusammenhangshypothesen mit der Korrelationsrechnung geprüft. Bei den vorliegenden Daten beschränkt man sich auf die Unterschiedshypothesen. Ausgehend von den theoretischen Überlegungen kann eine Alternativhypothese H_1 und passend dazu eine Nullhypothese H_0 generiert werden. Ein Beispiel für eine Alternativhypothese wäre, dass sich die durchschnittlichen Bediendauern von zwei systemergonomisch unterschiedlich gut gestalteten Navigationssystemen bei der Gesamtpopulation unterscheiden. Die

passende Nullhypothese sagt aus, dass die Mittelwerte der beiden Systeme im Allgemeinen nicht differieren. Mathematisch lassen sich diese zwei Annahmen wie folgt formulieren:

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

Dabei entspricht μ_1 dem Mittelwert der Gesamtpopulation für die erste und μ_2 für die zweite Variante.

		Wirklichkeit	
		H ₀	H ₁
Entscheidung auf Grund der Stichprobe zu Gunsten der:	H ₀	Richtige Entscheidung	β-Fehler
	H ₁	α-Fehler	Richtige Entscheidung

Tabelle 5-2: α- und β-Fehler bei statistischen Entscheidungen

Ausgehend von den gemachten Messungen kann man sich nun für eine dieser beiden Hypothesen entscheiden. Wie der Tabelle 5-2 zu entnehmen ist, können dabei zwei unterschiedliche Fehler gemacht werden. Entscheidet man sich für die Alternativhypothese H₁, obwohl in Wirklichkeit kein Unterschied vorhanden ist, begeht man einen α-Fehler. Entschließt man sich dagegen für die Nullhypothese H₀, obgleich die Alternativhypothese korrekt ist, kommt es zu einem β-Fehler.

Mit der Irrtumswahrscheinlichkeit oder α-Fehlerwahrscheinlichkeit wird die Wahrscheinlichkeit angegeben, sich für die Alternativhypothese zu entscheiden, obwohl in Wirklichkeit kein Unterschied vorherrscht. Um eine gewisse Vergleichbarkeit und Qualität statistisch abgesicherter Entscheidungen zu gewährleisten, ist es üblich eine Nullhypothese erst dann zu verwerfen, wenn die Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner oder gleich eines so genannten Signifikanzniveaus ist. Beträgt die Irrtumswahrscheinlichkeit einen Wert kleiner gleich 5 %, so wird das Ergebnis als signifikant bezeichnet. Liegt der Wert bei kleiner gleich 1 % ist das Ergebnis sehr signifikant. Für diese Untersuchung wird ein Signifikanzniveau von 5 % festgelegt.

Überschreitet die α-Fehlerwahrscheinlichkeit das vorgegebene Signifikanzniveau, darf nicht ohne Einschränkung die Nullhypothese H₀ als richtig angenommen werden. Nur bei einer ausreichend großen Irrtumswahrscheinlichkeit kann die Nullhypothese übernommen werden. Der β-Fehler beschreibt die irrtümliche Annahme der Nullhypothese, obwohl sie falsch ist. Dieser Fehler ist allerdings nicht unmittelbar rechnerisch bestimmbar, sondern muss mit Hilfe der α-Fehlerwahrscheinlichkeit abgeschätzt werden. Bei Irrtumswahrscheinlichkeiten über 25 % kann davon ausgegangen werden, dass die korrespondierende Wahrscheinlichkeit eines β-Fehlers geringer als 5 % ist. In diesem Fall darf die Nullhypothese nicht verworfen werden. Genau genommen bedeutet dies allerdings nicht, dass sie richtig ist. Für den verbleibenden α-Fehlerbereich zwischen 5 % und 25 % sind keine statistisch abgesicherten Aussagen zu treffen.

Schließlich kann zwischen verbundenen und unverbundenen bzw. abhängigen und unabhängigen Stichproben unterschieden werden. Unter einer Stichprobe versteht man in der Inferenzstatistik eine Teilmenge aus einer Population. Handelt es sich um

zwei Stichproben, die aus verschiedenen Personen bestehen, so sind diese unverbunden. Bei verbundenen Stichproben handelt es sich dagegen um die gleiche Personengruppe. In diesem Fall sind signifikante Veränderungen leichter nachzuweisen, weil Varianzen zwischen den Versuchspersonen statistisch herausgerechnet werden.

Die Wahl der Verfahren zur Überprüfung der Unterschiedshypothesen hängt von dem Skalenniveau der Messwerte und der Anzahl der zu vergleichenden Aufgabenvarianten ab.

Das Skalenniveau kann nach Nominalskala, Ordinalskala, Intervallskala oder Verhältnisskala unterschieden werden. Bei der Nominalskala liegen Daten in Form qualitativer Ausprägung einer Eigenschaft vor. Ein Exempel hierfür ist das Geschlecht. Bei der Ordinalskala werden durch den Messvorgang die Objekte hinsichtlich ihrer Eigenschaft in eine Rangordnung gebracht. Hierzu zählen etwa militärische Ränge. Beide vorgestellten Skalen werden auch als nichtmetrisch bezeichnet und verbieten es, dass mit diesen Daten rechnerische Transformationen wie Mittelwertbildung durchgeführt werden. Zu den metrischen Skalen zählen die Intervallskala und die Verhältnisskala. Dabei werden den Eigenschaften der Objekte Zahlen zugeordnet, deren Differenzen die Unterschiede der Eigenschaften getreu wiedergeben. Der Unterschied zwischen der Intervallskala und der Verhältnisskala liegt im Wesentlichen im Umgang mit der Zahl „Null“. Anders als bei der Verhältnisskala, muss die Zahl „Null“ bei der Intervallskala die Tatsache „Eigenschaft ist nicht vorhanden“ nicht wiedergeben. Die Temperaturmessung ist ein Beispiel für eine Intervallskala. 0° C bedeuten nicht, dass es keine Temperatur gibt. Längen- oder Gewichtsmessungen gehören dagegen zu den Verhältnisskalen. Bei den metrischen Skalen sind alle mathematischen Transformationen erlaubt. Die vier beschriebenen Skalentypen sind in Tabelle 5-3 nochmals übersichtlich zusammengefasst. Bei den vorliegenden Messwerten handelt es sich um metrische Datentypen.

	Skalenart	Mögliche Aussage	Beispiele
Nicht-metrisch	1. Nominalskala	Gleichheit; Verschiedenheit	Geschlecht; Telefonnummern
	2. Ordinalskala	Größer-kleiner Relationen	Militärische Ränge
Metrisch	3. Intervallskala	Gleichheit von Differenzen	Temperatur
	4. Verhältnisskala	Gleichheit von Verhältnissen	Längenmessung; Gewichtsmessung

Tabelle 5-3: Die vier Skalentypen (Bortz 1993); Die Skalenarten sind gemäß dem jeweiligen Datenniveau sortiert.

Abhängig von der Anzahl der Aufgabenvarianten werden entweder ein t-Test für abhängige Stichproben oder eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung eingesetzt. Der t-Test stellt einen Sonderfall der Varianzanalyse dar und vergleicht zwei Stichprobenmittelwerte. Bei kleineren Stichprobenumfängen setzt der t-Test voraus, dass die Differenzen in der Grundgesamtheit normalverteilt sind. Diese Voraussetzung ist gemäß Bortz (1993) erfüllt, wenn die Differenzen in der Stichprobe angenähert eine Normalverteilung aufweisen. Generell gilt, dass der t-Test relativ robust bei Verstößen gegen diese Voraussetzungen reagiert. Es ist

allerdings zu überprüfen, ob hohe Werte in der einen Stichprobe mit hohen Messungen in der zweiten Stichprobe einhergehen.

Bei der Varianzanalyse wird zwischen abhängigen und unabhängigen Variablen unterschieden. Eine abhängige Variable ist das Merkmal (z.B. maximale Blickdauer), das untersucht werden soll. Die unabhängigen Variablen nehmen auf das Zustandekommen des Merkmals Einfluss. Die Auslegung einer Versuchsaufgabe entspricht damit der unabhängigen Variablen. Eine einfaktorielle Varianzanalyse überprüft die Auswirkung einer p-fach gestuften, unabhängigen Variablen auf die abhängige Variable. Dabei wird die Nullhypothese H_0 überprüft, die besagt, dass sich alle betrachteten Parameter nicht unterscheiden. Die Alternativhypothese H_1 verlangt dagegen nicht einen Unterschied zwischen *allen* Parametern, sondern lediglich eine deutliche Differenz zwischen *zwei beliebigen* Parametern. Auch bei der Varianzanalyse ist zwischen verbundenen und unverbundenen Stichproben zu unterscheiden. Nur spricht man bei abhängigen Stichproben von einer Messwiederholung. Für die Varianzanalyse werden verschiedene Varianzen ermittelt und miteinander verglichen. Dafür sind so genannte Quadratsummen notwendig, die hier im Einzelnen nicht näher erläutert werden sollen. Eine wichtige Quadratsumme bei der einfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung ist die Treatmentquadratsumme QS_{treat} , die die einzelnen Leistungsschwankungen der einzelnen Versuchsperson charakterisiert, die auf Treatmenteffekte zurückzuführen sind. Mit Treatmenteffekten sind die unterschiedlichen Auswirkungen der Aufgabenvarianten auf die Leistung des Probanden gemeint. Diese Treatmentquadratsumme bildet die Basis für die Überprüfung der Nullhypothese H_0 . Führt die einfaktorielle Varianzanalyse zu einem signifikanten Ergebnis, kann daraus geschlossen werden, dass sich die betrachteten Parameter in irgendeiner Weise unterscheiden. Eine genauere Interpretation der Gesamtsignifikanz wird erst möglich, wenn mit Hilfe von Einzelvergleichen bekannt ist, welche Werte signifikant differieren. Allerdings ist hierbei die auftretende α -Fehlerkumulierung zu korrigieren.

Dafür wird die Bonferoni-Korrektur verwendet. Die Irrtumswahrscheinlichkeit gibt die Wahrscheinlichkeit an, bei einem Einzelvergleich die Nullhypothese fälschlicherweise zu verwerfen. Werden nun zwei (orthogonale) Einzelvergleiche durchgeführt, erhöht sich folglich die Irrtumswahrscheinlichkeit. α -Fehlerkumulierungen dieser Art treten auf, wenn eine Hypothese mit Hilfe mehrerer Signifikanztest überprüft wird. Um diese α -Fehlerkumulierung auszugleichen, muss ausgehend vom zuvor spezifizierten Signifikanzniveau α für die Einzelvergleiche eine Irrtumswahrscheinlichkeit α' verwendet werden. Diese berechnet sich nach folgender Gleichung:

$$\alpha' = 1 - (1 - \alpha)^{1/m}$$

Diese Gleichung lässt sich durch eine einfachere Gleichung annähern, die als Bonferoni-Korrektur bekannt ist:

$$\alpha' = \alpha/m$$

Allerdings ist zu beachten, dass die beschriebene α -Fehlerkorrektur in der Tendenz eher konservativ ausfällt.

Für die Datenanalyse lässt sich insgesamt festhalten, dass Methoden der deskriptiven und Inferenzstatistik verwendet werden. Als Signifikanzniveau wird ein α -Fehler von 5 % festgelegt. Liegt die α -Fehlerwahrscheinlichkeit oberhalb von 25 %, wird die Nullhypothese übernommen. Für den α -Fehlerbereich zwischen 5 % und

25 % können dagegen keine statistisch abgesicherten Aussagen getroffen werden. Zur Überprüfung der Unterschiedshypothesen werden bei Aufgaben mit zwei Varianten t-Tests für abhängige Stichproben durchgeführt. Bei mehr Ausprägungen kommt die einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung zur Anwendung. Die bei mehrfach durchgeführten Einzelvergleichen auftretende α -Fehlerkumulierung wird mittels Bonferoni-Korrektur ausgeglichen, obwohl diese Korrektur in der Tendenz eher konservativ ausfällt.

5.8 Zusammenfassende Übersicht

Für das Versuchsdesign wird als Versuchsträger ein BMW E46 verwendet, in dem die Bedieneinheit, das Display, die Rechner und sonstige Messinstrumente verbaut sind. Mit LfE-Cruise werden unter der Software LabView der Firma National Instruments die beiden Menüstrukturen simuliert. Zur Einführung in das System wird den Versuchspersonen ein Warm-Up gestellt, das aus sieben Aufgaben besteht, welche die eigentlichen Versuchsaufgaben abbilden, ohne diese zu kopieren. Zur Erfassung der subjektiven Beurteilung werden Fragebögen verwendet. Die restlichen Daten werden über das Tachosignal, der Spurbeobachtung, der automatischen Protokollierung der Bedienung und der Blickerfassung gemessen. Das Versuchspersonenkollektiv besteht insgesamt aus 26 Versuchspersonen, wobei sich Männer und Frauen im Gleichgewicht befinden. Das durchschnittliche Alter beträgt 40,8 Jahre bei einer Standardabweichung von 16,2 Jahren. Soweit möglich repräsentiert das Kollektiv einen repräsentativen Querschnitt der Autofahrer. Als Versuchsstrecke werden Straßen rund um Eicherloh im Erdinger Moos östlich von Ismaning gewählt. Die einzelnen Streckenabschnitte ähneln einander sehr, so dass die Versuchsdaten verglichen werden können. Die Versuche werden im Sommer 2003 bei sonnigem Wetter durchgeführt und folgen einem festgelegten Schema. Alle Versuchsaufgaben werden permutiert gestellt. Für die statistische Auswertung sind die Daten zuerst aufzubereiten. Dazu werden die Messwerte synchronisiert und für die Untersuchung wichtige Versuchsabschnitte extrahiert. Anschließend werden die zusammengefassten Daten mit statistischen Methoden der deskriptiven Statistik und Inferenzstatistik analysiert.