

Untersuchung des Fahrverhaltens in unterschiedlichen Kurvenradien bei trockener Fahrbahn

Verfasser:

Stephan Schmidl

Bakk.techn.

Masterarbeit für das Fachgebiet
VERKEHRSWESEN

Betreuung:

Peter Maurer

Priv. –Doz. Dipl.-Ing. Dr.

Wolfgang J. Berger

Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr.

Philippe Nitsche

Dipl.-Ing. (FH), MSc.




Institut für Verkehrswesen
Department für Raum, Landschaft und Infrastruktur
Universität für Bodenkultur Wien

Vorwort

Diese Masterarbeit bildet den Abschluss eines abwechslungsreichen, interessanten und mit den unterschiedlichsten Emotionen beladenen Abschnitts meines Lebens – meinem Studium der Kulturtechnik und Wasserwirtschaft an der Universität für Bodenkultur in Wien. Neben einigen wenigen von Stress und Anspannung geprägten Monaten kann ich auf eine durchwegs schöne Zeit als Student zurückblicken.

Während der Studienzeit und beim Erstellen dieser Arbeit wurde ich von vielen Menschen unterstützt und betreut. Diesen Personen gilt mein besonderer Dank.

Als erstes möchte ich mich bei Herrn Priv. Doz. DI Dr. Peter Maurer und seinem Team vom Mobility Department des Austrian Institutes of Technology (AIT) bedanken. Herr Maurer und seine Mitarbeiter standen mir jederzeit mit Rat und Tat zur Seite und stellten mir die verwendeten Messgeräte und wichtigen Datengrundlagen zur Verfügung.

Ein weiterer Dank gilt Herrn Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Wolfgang J. Berger und dem Institut für Verkehrswesen an der Universität für Bodenkultur für wertvolle Tipps und Anregungen zur Masterarbeit.

Weiters möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die sich als Probanden zur Verfügung gestellt haben und somit wesentlich zum Gelingen dieser Masterarbeit beigetragen haben.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern, meiner Familie und meiner Partnerin Elisabeth, die mir das Studium ermöglichten und mir in schwierigen Situationen zur Seite standen.

Stephan Schmidl

Kurzfassung

Neben einer Vielzahl an verschiedenen Charakteren beim Menschen gibt es auch im Verkehr unterschiedlich ausgeprägte Fahrstile. Die durchgeführten Beschleunigungs-, Brems- und Lenkmanöver variieren erheblich zwischen „sportlichen-“ und „Langsamfahrern“. In dieser Arbeit wird untersucht, welche Beschleunigungswerte (Querbeschleunigung) und Geschwindigkeiten in Abhängigkeit vom Kurvenradius auftreten.

Ziel der vorliegenden Masterarbeit ist es, Messdaten nach alters- und geschlechtsspezifischen Unterschieden im Fahrverhalten zu analysieren und den Zusammenhang zwischen der Querbeschleunigung bzw. der Geschwindigkeit und den unterschiedlichen Kurvenradien darzustellen. Weiters wird der Einfluss der Motorleistung, der Fahrbahnbreite und des Bekanntheitsgrades der Strecke auf das Fahrverhalten untersucht.

Als Datenbasis bzw. als Grundlage für die vorliegende Arbeit wurden Testfahrten mit 40 Probanden auf einer vordefinierten Teststrecke durchgeführt. Dabei wurde eine ländliche Strecke von rund 40 Kilometer Länge mit den privaten Pkw der Probanden befahren. Dies ermöglichte eine detaillierte Auswertung von 40 Kurven.

Ein weiteres Ziel dieser Masterarbeit ist es, die Projektierungsgeschwindigkeiten (V_{85}) für einzelne Kurvenradien zu ermitteln und mit den vorgeschlagenen Werten der V_{85} -Geschwindigkeiten aus österreichischen und deutschen Richtlinien zu vergleichen, da die Projektierungsgeschwindigkeit eine wichtige Planungsgröße für die Bestimmung anderer Streckenparameter bei der Planung von Straßen ist.

Die Ergebnisse bilden die Basis für wissenschaftliche Folgearbeiten bzw. können als Grundlage für die Erstellung von Normen und Richtlinien – beispielsweise die Trassierungsrichtlinie der FSV – dienen.

Abstract

As there is a high number of various personalities of humans, so there are also different types of driving styles. The executed actions of acceleration, breaking and gearing differ considerably between “sporty” and “slow-going” drivers. This master thesis studies the values of lateral acceleration and speed as a function of the curve radii.

The goal of the master thesis is to analyse performance data, if there are differences in the driving style caused by varieties in age and sex of the subjects. Furthermore the influence of level of motorisation, the width of roadway and the awareness level of the track is analysed.

The data source for the thesis is gained by carrying out test runs on a certain test track with 40 subjects. For driving through the 40 kilometres long test track, the private cars of the subjects were used. The test runs enabled detailed analysis of 40 curve radii.

Another goal of the master thesis is to calculate the design speed for different curve radii and to compare it with the values of the Austrian and German guidelines. The speed of projection is an important part for the planning of roads and defines several other parameters for the construction.

The conclusions of the master thesis serve as a base for follow-up research and can be used as background for the development of new guidelines, as for example the guideline for road alignment of the FSV.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Ziel der Masterarbeit	1
1.3	Methode und Arbeitsablauf	1
1.4	Abkürzungen / Glossar	3
2	Grundlagen und Ergebnisse aus der Literaturrecherche	4
2.1	Fahrdynamik – theoretische, maximale Querbeschleunigung	4
2.2	Wahl der Fahrgeschwindigkeit - Rolle der Querbeschleunigung	7
2.3	Ermittlung der Projektierungsgeschwindigkeit V_p (V_{85})	11
2.4	Erkenntnisse aus der Literaturrecherche	15
3	Messungen bei Testfahrten – Rahmenbedingungen	16
3.1	Versuchsplanung – statistisches Modell	16
3.1.1	Kovarianzanalyse	17
3.1.2	Regressionsanalyse	18
3.2	Auswahl und Einteilung der Probanden	19
3.2.1	Auswahl der Probanden	19
3.2.2	Gruppenanzahl und Gruppengröße	20
3.2.3	Anpassung an die Verteilung der mittleren Fahrleistung	20
3.2.4	Ausbildungsstand und sozialer Hintergrund	21
3.3	Teststrecke	22
3.3.1	Wahl der Teststrecke	22
3.3.2	Beschreibung des Streckenverlaufes	23
3.3.3	Kenngößen der Strecke - Bestimmung geeigneter Kurven	24
3.4	Aufnahme- und Messgeräte	28
3.4.1	Beschleunigungsmesser	28
3.4.2	GPS Empfänger	29
3.4.3	Gerätekoffer und Laptop	29
3.4.4	Lasermessgerät für Kontrollmessungen	29
4	Durchführung der Testfahrten	30
4.1	Vorbereitungen	30
4.2	Beschreibung des Ablaufes	31
4.3	Aufzeichnungen	31
5	Durchführung von Kontrollmessungen	32
6	Datenanalyse - Auswertung und Verknüpfung von Daten	33
6.1	Datenaufbau	33
6.1.1	Straßengeometriedaten	33
6.1.2	Daten aus Fragebögen und Fahrtenprotokollen	35
6.1.3	Messdaten aus Testfahrten – DataLogger	35
6.2	Vorgangsweise bei der Auswertung der Messdaten	36

6.2.1	Bereinigung der Messdaten	36
6.2.2	Verknüpfung der Datensätze in ArcGIS	36
6.2.3	Visualisierung der Querbeschleunigungen und Geschwindigkeiten	37
6.2.4	Kurvenweise Ermittlung der mittleren Querbeschleunigungen und Geschwindigkeiten	40
6.2.5	Theoretische Berechnung der Kurvenradien	41
7	Ergebnisse	42
7.1	Alters- und geschlechtsspezifische Unterschiede der gemessenen QUERBESCHLEUNIGUNG	42
7.1.1	Kovarianzanalyse der Querbeschleunigung	42
7.1.2	Regressionsanalyse der Querbeschleunigung	44
7.1.3	Korrelation der Querbeschleunigung mit dem Radius	46
7.1.4	Betrachtung unterschiedlicher Fahrstile	50
7.2	Alters- und geschlechtsspezifische Unterschiede der gemessenen GESCHWINDIGKEIT	52
7.2.1	Kovarianzanalyse der Geschwindigkeit	52
7.2.2	Regressionsanalyse der Geschwindigkeit	54
7.2.3	Korrelation der Geschwindigkeit mit dem Radius	56
7.2.4	Betrachtung unterschiedlicher Fahrstile	60
7.3	Unterschiede in den Ergebnissen der Auswertung für Querbeschleunigung und Geschwindigkeit	61
7.4	Ergebnisse und Vergleiche von V_{85} - Geschwindigkeiten aus Testfahrten, Lasermessungen und Richtlinien	62
7.4.1	Vergleich der Daten aus den Messfahrten und den Lasermessungen	62
7.4.2	Vergleich der ermittelten V_{85} -Geschwindigkeiten mit Studien und Richtlinien	64
7.4.3	Vergleich theoretischer Querbeschleunigungen berechnet anhand von V_{85} -Geschwindigkeiten	69
7.5	Vergleich der Messungen aus Streckenabschnitt 1 und 2	71
7.5.1	Vergleich der V_{85} -Geschwindigkeiten aus den Testfahrten mit den Projektierungsgeschwindigkeiten der Überarbeitungsversion der RVS 03.03.23 für unterschiedliche Fahrbahnbreiten	73
8	Zusammenfassung	74
8.1	Problemstellung und Zielsetzung	74
8.2	Erkenntnisse aus der Literaturrecherche	74
8.3	Versuchsdurchführung	75
8.4	Erkenntnisse und Schlussfolgerungen	76
9	Quellenverzeichnis	80
10	Abbildungsverzeichnis	82
11	Tabellenverzeichnis	84
12	Fotoverzeichnis	84
13	Anhang	85

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Unterschiede im Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer gab es seit Beginn der Motorleistung und wird es auch in Zukunft geben. Die durchgeführten Beschleunigungs-, Brems- und Lenkmanöver variieren erheblich zwischen „sportlichen Fahrern“ und „Langsamfahrern“. In dieser Arbeit wird untersucht, welche Beschleunigungswerte (Querbesehleunigung) in Abhängigkeit vom Kurvenradius auftreten. Weiters sollen mögliche alters- und geschlechtsspezifische Unterschiede im Fahrverhalten auf einer definierten Teststrecke herausgearbeitet und analysiert werden.

Derzeit gibt es kaum Studien, die alters- und geschlechtsspezifische Unterschiede im Fahrverhalten durch Testfahrten, die mit den eigenen Pkws der Probanden und auf Freilandstraßen durchgeführt werden, untersucht haben.

Die Projektierungsgeschwindigkeit ist als wichtige Planungsgröße für die Bestimmung anderer Streckenparameter bei der Planung von Straßen notwendig und findet sich deshalb in vielen Richtlinien und Vorschriften zur Trassierung von Straßen wieder. In der aktuellen Überarbeitungsversion der österreichischen Richtlinie für das Straßenwesen – Linienführung (RVS 03.03.23) wird die Projektierungsgeschwindigkeit anhand älterer Berechnungsmodelle und durch Vergleiche mit einschlägigen Richtlinien Frankreichs, der Schweiz und Deutschlands abgeschätzt. Es soll durch die Analyse der Messfahrten in der vorliegenden Masterarbeit eine Gegenüberstellung der in den Richtlinien vorgeschlagenen Werte mit den gemessenen Werten stattfinden.

1.2 Ziel der Masterarbeit

Ziel der vorliegenden Masterarbeit ist es, unter Zuhilfenahme der von AIT entwickelten Mess- und Softwaretools, Fahrzeugdaten dahingehend zu analysieren, ob es einen Zusammenhang zwischen ausgewählten Personengruppen und deren Fahrverhalten gibt, bzw. festzustellen welche Beschleunigungswerte in Querrichtung im Zuge von Kurvenfahrten auftreten.

Weiters werden die Projektierungsgeschwindigkeiten (V_{85}) für einzelne Kurvenradien ermittelt und mit den vorgeschlagenen Werten der V_{85} -Geschwindigkeiten aus österreichischen und deutschen Richtlinien verglichen und interpretiert.

Die Ergebnisse bilden die Basis für wissenschaftliche Folgearbeiten bzw. können als Grundlage für die Erstellung von Normen und Richtlinien – beispielsweise die Trassierungsrichtlinie der FSV – dienen.

1.3 Methode und Arbeitsablauf

Für die Analysen des Fahrverhaltens und für die Bestimmung der V_{85} -Geschwindigkeiten werden für jede Personengruppe Testfahrten bei definierten Rahmenbedingungen durchgeführt. Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, wird im

Vorhinein eine abwechslungsreiche Versuchsstrecke (Variationen von Kurvenradien und Geraden) festgelegt, die mit allen Personengruppen befahren wird. Die Testfahrten sollen eine Fahrtdauer von ungefähr 30 Minuten aufweisen und möglichst unbeeinflusst von anderen Verkehrsteilnehmern stattfinden. Mittels GPS-Daten werden den einzelnen Streckenabschnitten (Kurven, Geraden, Kreuzungen) Geschwindigkeits- und Beschleunigungswerte zugeordnet. Anschließend wird darauf aufbauend untersucht, wie die akzeptierten Querschleunigungen und die gefahrene Geschwindigkeit von der Straßengeometrie und von den Personengruppen abhängig sind.

Im Sommer 2010 fanden die ersten Treffen mit allen Beteiligten der vorliegenden Arbeit statt und die genaue Problemstellung und die Ziele der Masterarbeit wurden konkretisiert.

Der weitere Arbeitsablauf ergab sich wie folgt:

- Literaturrecherche nationaler und internationaler Studien, Richtlinien und Vorschriften
- Festlegung der Rahmenbedingungen für die Testfahrten
- Wahl der geeigneten Teststrecke und Bestimmung der Parameter
- Rekrutierung der Probanden für die Testfahrten
- Verteilung von Fragebögen an die Probanden
- Kalibrierung der Messgeräte und erste Versuchsfahrten
- Durchführung der Testfahrten
- Aufbereitung und Analyse der Messdaten
- Kontrollmessungen mittels Lasermessgerät
- Interpretation der Ergebnisse

In Kapitel 2 erfolgt eine Zusammenfassung der wichtigsten nationalen und internationalen Studien und Richtlinien, die sich mit Messungen der Querschleunigung bzw. mit der Bestimmung der Projektierungsgeschwindigkeit (V_{85}) auseinandersetzen.

Die Vorgehensweise und die Überlegungen bei der Wahl und Einteilung der Probanden sind in Kapitel 3 beschrieben. Weiters wird in diesem Kapitel auf weitere Rahmenbedingungen für die Testfahrten, wie die gewählte Teststrecke und die verwendeten Messgeräte, eingegangen.

Kapitel 4 beschäftigt sich mit den Vorbereitungen, dem Ablauf und den Aufzeichnungen der Testfahrten.

Die Beschreibung der verwendeten und gemessenen Daten erfolgt in Kapitel 5. Weiters wird die Vorgehensweise bei der Datenaufbereitung und der Auswertung in diesem Kapitel abgehandelt.

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse und eine Interpretation dieser erfolgt in Kapitel 7. Zusätzlich zur Dokumentation der Ergebnisse der Varianzanalyse mittels SPSS und der Messungen der Querschleunigungen werden auch diese Messwerte mit den nationalen und internationalen Studien und Richtlinien verglichen.

1.4 Abkürzungen / Glossar

Die in dieser Arbeit verwendeten Abkürzungen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Übersicht der verwendeten Abkürzungen

Abs.	Absatz
ABS	Antiblockiersystem
AC / DC	Alternating Current / Direct Current
AIT	Austrian Institute of Technology
Akku	Akkumulator
ArcGis	GIS - Softwareprogramm
ASR	Antischlupfregelung
AutoCad	Softwareprogramm für technische Zeichnungen, Konstruktionen
cos	Kosinusfunktion
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
FSV	Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr
GIS	Geoinformationssystem
GPS	Global Positioning System
IMU	Inertial Measurement Unit
Kfz	Kraftfahrzeug
Lkw	Lastkraftwagen
Pkw	Personenkraftwagen
RoadSTAR	Messfahrzeug des AIT
PS	Pferdestärken
RAS	Richtlinien für die Anlage von Straßen
RVS	Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen
sin	Sinusfunktion
SPSS	Statistik - Softwareprogramm
vgl.	vergleiche

2 Grundlagen und Ergebnisse aus der Literaturrecherche

2.1 Fahrdynamik – theoretische, maximale Querbeschleunigung

In diesem Kapitel werden die fahrdynamischen und physikalischen Hintergründe für die Entstehung von Querbeschleunigungen in der Kurvenfahrt erläutert. Hierfür wird der Sonderfall einer Kreisfahrt mit konstantem Radius und konstanter Geschwindigkeit betrachtet. Dieser Fall behandelt keine Änderungen in der Querneigung bzw. externe Effekte wie Seitenwind. Es treten keine Brems- bzw. Beschleunigungskräfte in Längsrichtung auf [15].

Beendet ein Fahrzeug die geradlinige Fahrt, bei der keine Querkräfte auftreten, und beginnt eine Kurvenfahrt, so entstehen Fliehkräfte, die auf das Fahrzeug wirken. Die Entstehung dieser Fliehkräfte bzw. Querbeschleunigungen beruht auf dem Trägheitsmoment der geradlinig bewegten Masse, die nun durch eine Lenkbewegung in eine Kreisbahn gezwungen wird.

Damit sich das Fahrzeug in der Kreisbahn halten kann, müssen die Fliehkräfte über die Reifen in den Untergrund abgeleitet werden. Man spricht von einem nötigen Kraftschluss μ bzw. einer maximal aufnehmbaren Umfangkraft $F_{x\max}$ des Reifens [15].

Die Umfangkraft wird als die Kraft definiert, die über die Kontaktfläche Reifen – Fahrbahn (Latsch) durch Reibung von der Reifenoberfläche auf die Fahrbanoberfläche übertragen wird.

Die maximale Umfangkraft berechnet sich aus: $F_{x\max} = \mu_h * F_z$

F_z entspricht der Radlast des Fahrzeuges. μ_h ist der maximale Kraftschlussbeiwert und wird auch als Haftbeiwert benannt. Allgemein ist der Kraftschluss μ eine Funktion des Schlupfes und wird bei Vernachlässigung des Rollwiderstandes (bei Straßenfahrten [15]) folgendermaßen definiert: $\mu = F_x / F_z$

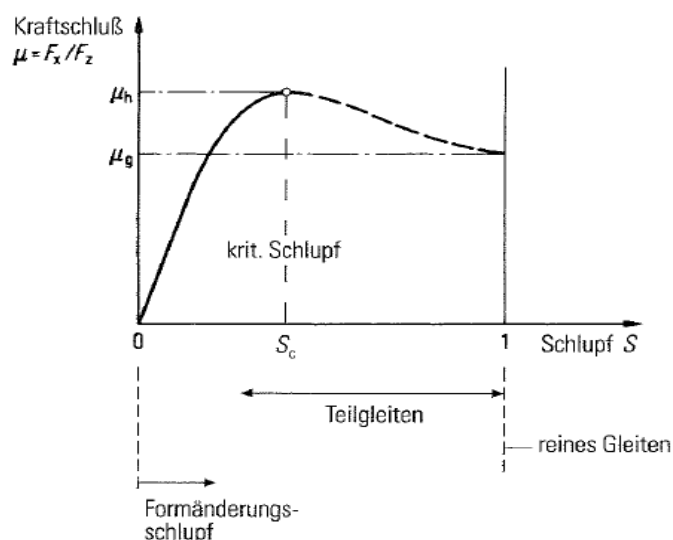


Abbildung 1: Kraftschluss - Schlupf Kurve (Quelle: [15])

Abbildung 1 beschreibt den Zusammenhang zwischen Kraftschluss und Schlupf. Dieser kann in drei Bereiche unterteilt werden. Bei anfänglicher Einleitung von Umfangkräften kommt es zu einer Deformation bzw. Formänderung des Reifenprofils. Danach beginnt ein Teilgleiten des Reifens über die Fahrbahnoberfläche. Ab einem Schlupf von 100% spricht man von reinem Gleiten.

Der maximale Kraftschluss μ_h wird bei ca. 10% - 20% Schlupf erreicht [14]. Diese Gegebenheit wird auch bei modernen Fahrzeugen durch die Anwendung von ASR und ABS Systemen ausgenutzt [15]. Danach verringert sich dieser wieder zu einem konstanten Wert μ_g bei reinem Gleiten.

Bei einer Kreisfahrt mit konstantem Radius R und konstanter Geschwindigkeit v ergibt sich eine konstante Zentripetalbeschleunigung (gemäß $a_z = v^2 / R$). Es herrscht ein Gleichgewicht zwischen der Fliehkraft ($F = m * a_z$) und der Summe der abgeleiteten Seitenkräfte an den Vorder- und Hinterreifen (F_{yV} bzw. F_{yH}) [15].

$$F_{yH} + F_{yV} = \frac{m * v^2}{R}$$

Bei Einführung gleich großer Kraftschlussbeiwerte für Vorder- und Hinterachse ($\mu_{yV} = \mu_{yH} = \mu_y$) und bei Vernachlässigung der Auftriebskräfte ($F_{zV} + F_{zH} = m * g$) ergibt sich die Gleichung zu:

$$\mu_y = \frac{v^2}{R * g} \quad \text{bzw. die maximale Querbeschleunigung } a_z = \frac{v^2}{R} = \mu_y * g$$

Somit können bei größtmöglichem Haftbeiwert maximale Querbeschleunigungen von dem 1,0- bis 1,1-fachen der Erdbeschleunigung ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$) auftreten. Dies entspricht einer theoretisch maximalen Querbeschleunigung von rund 9,80 bis 10,80 m/s^2 . Diese Werte gelten für den normalen Pkw Verkehr.

In Messungen [15] wurden allerdings nur Maximalwerte von 0,73 bis 0,8 g für Pkw bestimmt. Dies entspricht Querbeschleunigungen von etwa 7,2 bis 7,8 m/s^2 .

Diese maximalen Querbeschleunigungen (Zentripetalbeschleunigungen) können bei Überhöhung der Straße noch weiters vergrößert werden und die maximale bezogene Zentripetalbeschleunigung errechnet sich bei Berücksichtigung der Querneigung laut [15] aus:

$$a_z = \frac{\mu_{yh} + p_q}{1 - \mu_{yh} * p_q}$$

Dies ergibt bei einem maximalen Haftbeiwert μ_y und einer maximal zulässigen Querneigung von $p_q = 0,07$ (7%) [7] eine maximale Querbeschleunigung von rund 1,39 g bzw. 13,60 m/s^2 .

Grenzgeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Kraftschlussbeiwerte

Hoffmann [10] ermittelte in seinen Untersuchungen für verschiedene Kurvenradien und unterschiedliche Straßenzustände die maximal möglichen Geschwindigkeiten.

Abbildung 2 zeigt für die Straßenzustände Trockene Fahrbahn, Nasse Fahrbahn, Schneefahrbahn, Eisfahrbahn und deren dazugehörige Kraftschlussbeiwerte die möglichen Grenzggeschwindigkeiten.

Bei einem Radius $R = 200$ m ist auf trockener Fahrbahn ($\mu \geq 0,6$) eine Grenzggeschwindigkeit von ca. 130 km/h möglich. Hingegen sind bei schlechten Fahrverhältnissen (Schnee, Eis) nur mehr Geschwindigkeiten zwischen 50 und 60 km/h möglich, ohne dass das Kfz ins Schleudern gerät. Ebenfalls ist bei einer nassen Fahrbahn die Grenzggeschwindigkeit aufgrund einer niedrigeren Griffigkeit auf ca. 110 km/h reduziert.

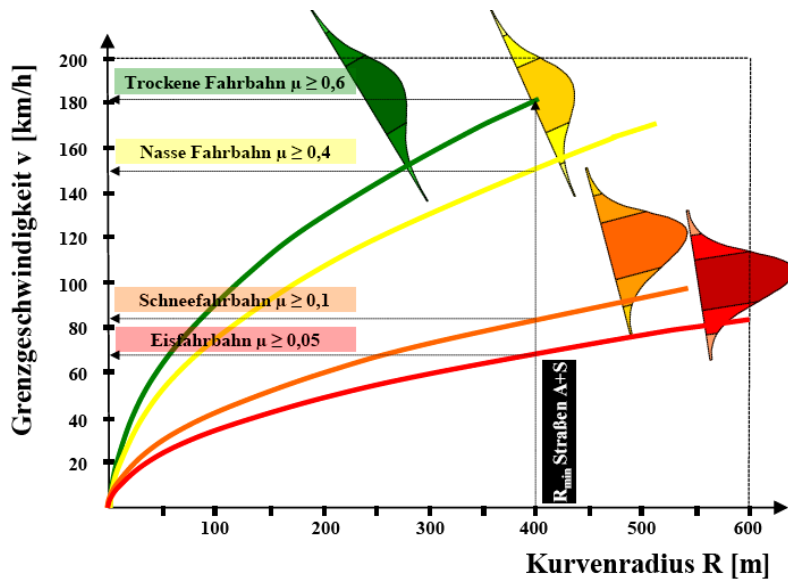


Abbildung 2: Grenzggeschwindigkeiten für verschiedene Radien (Quelle: [10])

Ermittlung von akzeptierten Querbeschleunigungen bei normaler Fahrt

Möchte man keine maximal möglichen Querbeschleunigungen errechnen, sondern die auftretenden Beschleunigungen in normalen Kurvenfahrten ermitteln, so ist die Betrachtung des Kraftschlusses nicht notwendig.

Vielmehr wird hier die Querbeschleunigung aus der Fahrtgeschwindigkeit v , dem Kurvenradius R und der Querneigung α bzw. p_q berechnet.

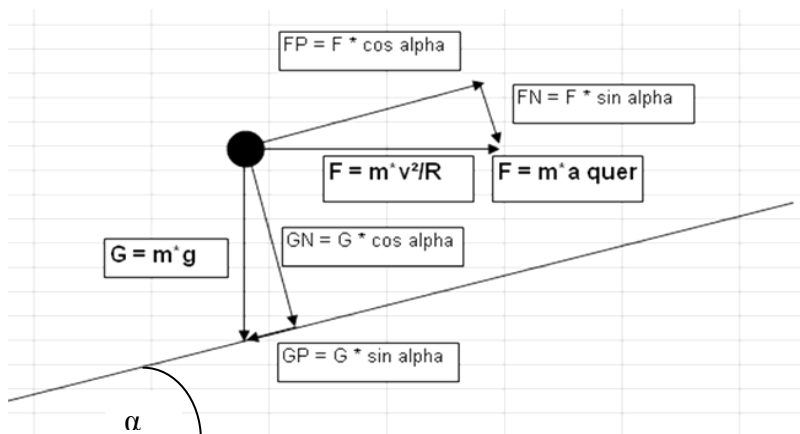


Abbildung 3: Skizze der auftretenden Kräfte bei konstanter Kurvenfahrt

Wie bereits beschrieben wird die Fliehkraft durch $F = m \cdot a_z$ berechnet. Die Zentripetalbeschleunigung wird wiederum durch $a_z = v^2 / R$ ermittelt.

Bei der Kurvenfahrt in einer überhöhten Straße wird die Fliehkraft durch zwei Faktoren reduziert. Zum einen erfolgt eine Reduktion zu $FP = F \cdot \cos \alpha$ und zum anderen erzeugt die Querneigung eine, aus der Schwerkraft resultierende, nach Innen, zum Kurvenmittelpunkt zeigende Kraft $GP = G \cdot \sin \alpha$ (vgl. Abbildung 3).

$$F_{\text{resultierend}} = F \cdot \cos(\alpha) - G \cdot \sin(\alpha)$$

Da $F = m \cdot v^2/R$ und $G = m \cdot g$ ist, kann die Masse m aus der Gleichung gekürzt werden und es ergibt sich für die Querbeschleunigung:

$$a_{\text{quer}} = \frac{v^2}{R} \cdot \cos(\alpha) - g \cdot \sin(\alpha)$$

2.2 Wahl der Fahrgeschwindigkeit - Rolle der Querbeschleunigung

In diesem Kapitel wird auf die Rolle der Querbeschleunigung bei der Wahl der Geschwindigkeit eingegangen und Studien, die Messungen der Querbeschleunigung beinhalten, beziehungsweise deren Ergebnisse zusammengefasst.

Bei der Wahl der Fahrgeschwindigkeit wird zwischen drei verschiedenen Typen von Modellen unterschieden [17]. Die erste und älteste Modellart deklariert die Querbeschleunigung als Haupteinflussfaktor bei der Wahl der gefahrenen Geschwindigkeit. Dabei passen die Fahrer ihre Geschwindigkeit derart an die Fahrverhältnisse und Straßengeometrie an, dass sich die auftretenden Querbeschleunigungen in einem tolerierten und noch als angenehm empfundenen Bereich bewegen.

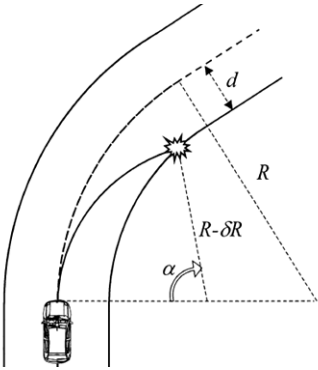
Spätere Modelle beruhen auf der Annahme, dass die Geschwindigkeitswahl maßgeblich von der vorhandenen räumlichen Toleranz für Fahrfehler und somit von der Fahrbahnbreite abhängt. Sie ist nach [17] folgendermaßen definiert:

$$\text{vorhandene Toleranz} = \frac{(\text{Straßenbreite} - \text{Fahrzeugbreite})}{2}$$

Der dritte Typ von Modellen, welche die Geschwindigkeitsanpassung beschreiben, behandelt den Einfluss von voraussichtlichen Kurvenfahrfehlern. Diese Modelle definieren eine Zeitspanne, genannt T_{LC} („time to lane crossing“). Darunter versteht man die Zeit, die das Fahrzeug hat, bis es durch eine falsch gewählte Kurvenfahrt (zu großer bzw. zu kleiner gewählter Lenkeinschlag) eine Grenzlinie (Leitlinie bzw. Randlinie) überfährt. Studien zeigen, dass Fahrer die Geschwindigkeit so anpassen, dass diese T_{LC} über einem bestimmten Mindestmaß bleibt [17].

$$T_{LC} = \frac{\alpha \cdot (R - \partial R)}{v}$$

- v..... Geschwindigkeit in m/s
- R..... Kurvenradius in m
- δR .. Fahrfehler
- α durchfahrener Winkel bis zur „Kollision“ mit Begrenzung



Anmerkung: in [20] wird v mit U bezeichnet

Abbildung 4: Modell von Reymond (Quelle: [20])

Abbildung 4 zeigt das Zusammenwirken der Fahrbahnbreite, des Fahrfehlers, des durchfahrenen Winkels und des Kurvenradius.

Untersuchungen zur Querbeschleunigung

Abbildung 5 zeigt eine Übersicht der passenden Literatur mit dem Erscheinungsjahr, aufgegliedert in die Art der Untersuchung und in die gemessenen bzw. untersuchten Parameter [17].

Ritchie et al. [21], Felipe & Navin [6] und Reymond et al. [20] führten in ihren Studien Messungen der Querbeschleunigung durch. Daher wird auf diese drei Studien näher eingegangen und deren Ergebnisse zusammengefasst.

			1968	1971	1974	1974	1983	1990	1992	1996	1998	1998	1998	2001	2002
Tests	non-driving	Curve tracing	Ritchie, McCoy & Welde [12]	Drury [13]	Herrin & Neuhardt [15]	McLean [16]	Bottoms [20]	Gawron & Ranney [34]	DeFazio, Wittman & Drury [21]	Van Winsum & Gothelp [24]	Levison [10]	Prokop [28]	Felipe & Navin [19]	Reymond et al. [23]	Cole [22]
	driving	Road													
		Track													
	simulator	Moving base													
	driving	Fixed-base													
Controlled variables/ measurements		Tolerance													
		Radius													
		Lateral Accel.													
Models	speed	Lateral Accel.													
		Path error													
		T_{LC}													
	steering	MPOO													

Abbildung 5: Übersicht der Literatur (Quelle: aus [17])

Ritchie, McCoy, Welde: “A Study of the Relation between Forward Velocity and Lateral Acceleration in Curves During Normal Driving”

Die Studie von Ritchie et al. [21] aus dem Jahr 1968 beinhaltete erstmals konkrete Messungen der Querbeschleunigung bei Testfahrten mit unterschiedlichen Probanden. Dabei durchfuhren 25 Männer und 25 Frauen eine Teststrecke von 110

Meilen mit 227 Kurven jeweils in demselben Testfahrzeug. Den Probanden war die Teststrecke unbekannt und als Fahrhinweisung wurde eine Fahrt mit „normalem Fahrstil“ gegeben. Die Testfahrten erfolgten bei trockener Fahrbahn und war keine „freie Fahrt“ gegeben, wurden die Messungen unterbrochen.

Die Daten wurden zum einen in männliche und weibliche Gruppen gegliedert und zum anderen in fünf Gruppen entsprechend des Fahrstils (schnell, langsam) unterteilt.

Die Studie zeigte, dass Männer im Durchschnitt mit höheren Geschwindigkeiten fuhren als die weiblichen Probanden und dementsprechend höhere Querbeschleunigungen akzeptierten.

Weiters ergab die Arbeit, dass bei Geschwindigkeiten unter 32 km/h (9 m/s) die Querbeschleunigung konstant blieb und dass die Querbeschleunigung a_z mit dem Kurvenradius R und der Geschwindigkeit v folgendermaßen zusammenhing:

$$a_z = v^2 / R$$

Für Geschwindigkeiten über 32 km/h wurde ein indirekt proportional linearer Zusammenhang von Querbeschleunigung und Geschwindigkeit gefunden (siehe Abbildung 6).

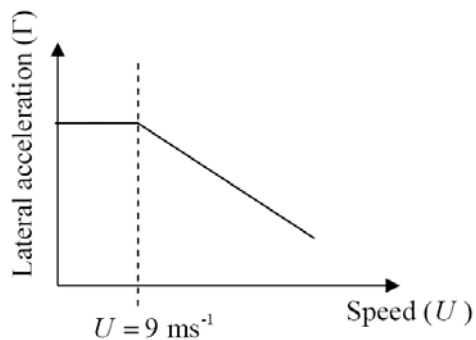


Abbildung 6: Schema von Ritchie (Quelle [21])

Anmerkung: Die Geschwindigkeit v (m/s) wird bei Ritchie et al. mit U bezeichnet

Die Einteilung der Probanden nach Fahrgeschwindigkeiten ergab für die schnellste Gruppe maximale Querbeschleunigungen von 0,285 g (2,80 m/s²) bzw. für die langsamste Gruppe Werte von 0,23 g (2,25 m/s²) bei einer Geschwindigkeit von 40 km/h [21].

Felipe & Navin: "Automobiles on Horizontal Curves – Experiments and Observations"

Felipe und Navin [6] führten in ihrer Studie zwei verschiedene Versuchsreihen durch. Der erste Teil beinhaltete Testfahrten auf einer abgegrenzten Teststrecke auf einem Versuchsgelände.

Vier männliche und vier weibliche Probanden fuhren jeweils achtmal die Teststrecke, die aus vier Kurvenradien (16 m, 26 m, 60 m, 100 m) bestand. Gefahren wurde immer mit demselben Testfahrzeug.

Weiters wurden Fahrten mit Fahrprofis durchgeführt, um die Grenzwerte des Systems Fahrer – Fahrzeug – Fahrstrecke mit den Werten der restlichen Probanden vergleichen zu können. Getestet wurde auch der Einfluss von nasser und trockener Fahrbahn.

In der zweiten Versuchsreihe wurden Messungen auf einer realen Teststrecke, dem Highway 99 durchgeführt. Hierbei wurden vier Radien von 90 m, 120 m, 180 m und 450 m untersucht.

Die Auswertungen von Felipe und Navin [6] zeigten keine signifikanten Unterschiede bei den Testfahrten auf trockener und nasser Fahrbahn beziehungsweise zwischen den männlichen und weiblichen Probanden. Der lineare Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Querbeschleunigung, wie von Ritchie [21] angenommen wurde, wurde als ungeeignet bezeichnet und durch eine exponentielle Funktion ersetzt.

Abbildung 7 zeigt die gemessenen Geschwindigkeiten und dazugehörigen Querbeschleunigungen für das Szenario V1 (normale Fahrt) und den Radien der Teststrecke auf dem Versuchsgelände. Für die kleinsten Radien (16m, 26m) wurden unter der Vorgabe der „normalen Fahrt“ die höchsten Querbeschleunigungen gemessen. Diese betrugen rund 0,42 g (4,1 m/s²) [6].

Nach der Auswertung der Fahrten wurde angenommen, dass bei kleinen Radien eine Anpassung der Fahrgeschwindigkeit an die komfortable Querbeschleunigung erfolgt. Bei größeren Radien kommt es zu einer Anpassung der Geschwindigkeit an eine komfortable Geschwindigkeit.

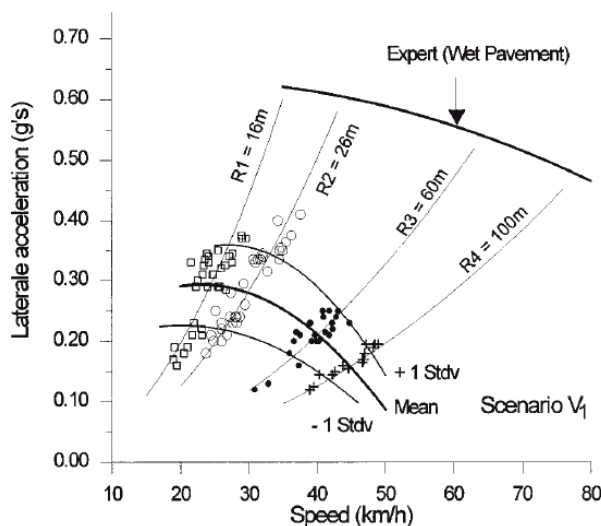


Abbildung 7: Korrelation: Geschwindigkeit mit Querbeschleunigung für 4 Radien (Quelle: [6])

Reymond et al.: "Role of Lateral Acceleration in Curve Driving: Driver Model and Experiments on a Real Vehicle and a Driving Simulator"

Reymond et al. [20] behandelten in ihrer Studie drei verschiedene Versuchsreihen. Sie gliederte sich in Testfahrten auf einer Teststrecke, Fahrten mit einem statischen

Fahrsimulator und Fahrten mit einem Simulator mit dynamischer Bodenplatte. Das Folgende beschränkt sich auf die Auswertung der ersten Versuchsreihe.

Die Fahrten erfolgten auf einer 3,6 km langen, gesperrten Teststrecke, die zehn unterschiedliche Radien von 25 m bis 250 m beinhaltete.

Sieben Probanden fuhren fünf Runden auf der Teststrecke mit der Vorgabe einer normalen Fahrt. Danach wurden zwei Runden mit maximaler Geschwindigkeit absolviert.

Die Korrelation der Geschwindigkeit mit der auftretenden Querbeschleunigung bei normaler Fahrt ist für einen Probanden in Abbildung 8 dargestellt. Die größten Querbeschleunigungen wurden, wie auch bei [6], bei den kleineren Radien gemessen. Die Maximalwerte der Querbeschleunigung bewegten sich zwischen 6,0 und 7,0 m/s^2 [20].

Die Wahl der Geschwindigkeit erfolgte laut Reymond et al. [20] anhand der auftretenden, noch als komfortable empfundenen Querbeschleunigung plus eines Sicherheitszuschlags. Das Modell besagte weiters einen quadratischen Rückgang der Querbeschleunigung mit steigender Geschwindigkeit und widerspricht somit dem linearen Zusammenhang bei Ritchie et al.

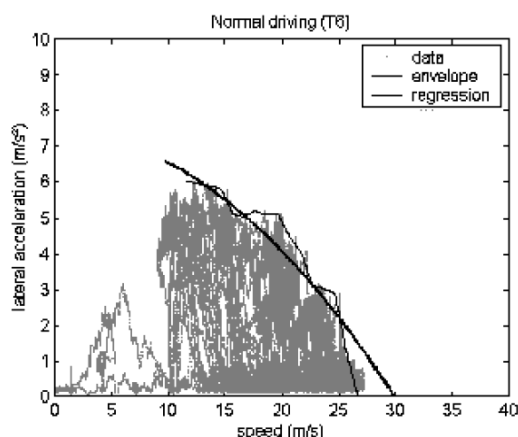


Abbildung 8: Korrelation: Geschwindigkeit mit der Querbeschleunigung (Quelle [20])

2.3 Ermittlung der Projektierungsgeschwindigkeit V_P (V_{85})

Definitionen der Entwurfsgeschwindigkeit und Projektierungsgeschwindigkeit

Der aktuelle Überarbeitungsentwurf der Richtlinien für die Linienführung von Straßen der FSV [7] definiert zwei verschiedene Geschwindigkeiten:

Die **Entwurfseingangsgeschwindigkeit V_E** ist jene Geschwindigkeit, auf die die Trassierungselemente in Grund- und Aufriss mindestens ausgelegt werden sollen, damit diese gefahren werden kann [8].

Somit gibt sie Grenzwerte für folgende Parameter vor:

- die minimalen Bogenradien
- die maximalen Längsneigungen

Die Wahl der Entwurfsgeschwindigkeit erfolgt nach einer räumlich-verkehrlichen Straßenklassifizierung. So ist bei Straßen mit größerer Verkehrsbedeutung eine höhere Entwurfsgeschwindigkeit vorzusehen als bei Straßenzügen mit niedriger Verkehrsbedeutung.

Die **Projektierungsgeschwindigkeit** V_P ist eine Planungsgröße, die bei der Bestimmung von

- Mindestlängen der Kreisbögen
- Mindestlängen der Klotoiden
- Mindestradien von Ausrundungen im Längenschnitt
- Mindestwerten für Sichtweiten
- die minimalen Bogenlängen
- die minimalen und maximalen Übergangsbogenlängen

notwendig ist [7].

Sie entspricht näherungsweise der 85% Geschwindigkeit (V_{85} -Geschwindigkeit) von frei fahrenden Pkw.

Die Projektierungsgeschwindigkeit V_{85} wird in [7] folgendermaßen definiert:

„Die 85%-Geschwindigkeit (V_{85}) ist jene Geschwindigkeit, die von 85% eines zugrunde liegenden Fahrzeugkollektivs nicht überschritten wird.“

Die Projektierungsgeschwindigkeit ist aus den Kreisbogenradien bzw. aus den Geradenlängen für einzelne Straßenabschnitte zu bestimmen. Sollte sich eine höhere Projektierungsgeschwindigkeit ergeben, als die an der betroffenen Straßenstelle gesetzlich zulässige Höchstgeschwindigkeit, so ist diese als Projektierungsgeschwindigkeit zu verwenden.

Der aktuelle Überarbeitungsentwurf der RVS 03.03.23 [7] sieht eine Bestimmung der Projektierungsgeschwindigkeit in runden 10er Schritten vor. Der Entwurf weist definierten Radienbereichen einzelne Projektierungsgeschwindigkeiten zu (siehe Abbildung 9).

Eine exakte Interpolation der Projektierungsgeschwindigkeiten für einzelne Radien wird als nicht sinnvoll eingeschätzt.

R [m]	→	V _p [km/h]
≤ 39	→	40
40 - 59	→	50
60 - 99	→	60
100 - 149	→	70
150 - 229	→	80
230 - 329	→	90
330 - 429	→	100
430 - 529	→	110
530 - 659	→	120
≥ 660	→	130

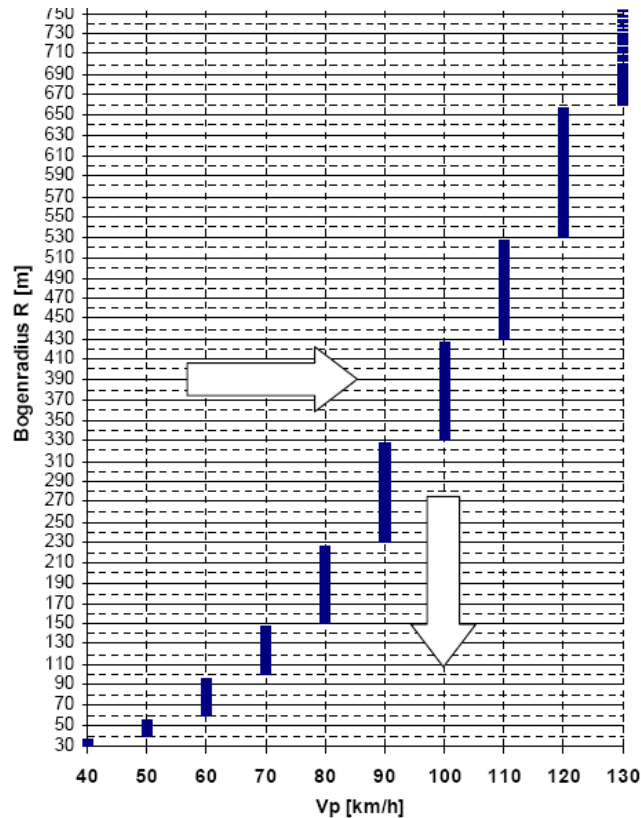


Abbildung 9: Ermittlung der V₈₅ nach der Überarbeitungsversion der RVS 03.03.23 (Quelle: [7])

Projektierungsgeschwindigkeit in deutscher Richtlinie

In Deutschland erfolgt gemäß RAS – L [9] eine Abschätzung bzw. Ermittlung der V₈₅-Geschwindigkeiten entweder für längere Streckenabschnitte über den Zusammenhang Kurvigkeit KU – Fahrbahnbreite B – V₈₅ oder für einzelne Radien über den Zusammenhang Kurvenradius R – Fahrbahnbreite B – V₈₅.

Somit wird bei der Bestimmung der Geschwindigkeit V₈₅, im Gegensatz zu der Ermittlung in der österreichischen Richtlinie, die Fahrbahnbreite der betrachteten Trassierungselemente berücksichtigt. Dies spiegelt die Annahmen der in Kapitel 2.2 angeführten Modelltypen 2 und 3 wider, bei denen die Fahrbahnbreite Einfluss auf die gewählte Fahrtgeschwindigkeit nimmt.

Abbildung 10 zeigt die Abschätzung der V₈₅-Geschwindigkeiten für Einzelkurven in Abhängigkeit zweier Fahrbahnbreiten. Da die Graphik für Freilandstraßen gilt, ist die V₈₅ aufgrund der allgemein zulässigen Höchstgeschwindigkeit mit 100 km/h begrenzt.

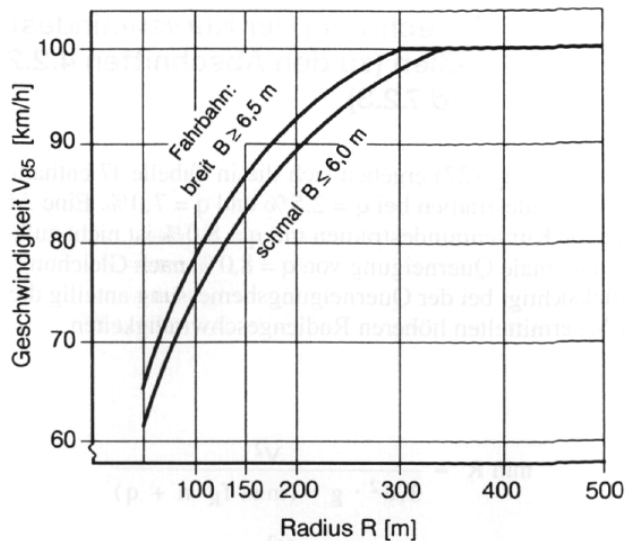


Abbildung 10: Graphische Auswertung der V_{85} für einzelne Radien (Quelle: [9])

Modelle und Berechnungen der V_{85} -Geschwindigkeiten

Lippold [12] geht in seiner Arbeit von einem logarithmischen Ansatz bei der Berechnung der V_{85} -Geschwindigkeiten für Einzelkurven aus. Diese Modellgleichung wurde anhand von Messungen an unterschiedlichen Kurven von Teststrecken in Deutschland definiert.

Die Gleichung lautet: $V_{85} = -4,880 + 18,2222 \cdot \ln(R)$

$r^2 = 0,621$, $n = 350$

r^2 Bestimmtheitsmaß

n ... Stichprobengröße

Die Berechnung schließt alle Radien mit Fahrbahnbreiten von über 6,0 m ein. Bei kleineren Fahrbahnbreiten verringert sich die V_{85} -Geschwindigkeit um rund 3 km/h pro Meter Fahrbahnbreite (ausgehend von einer Fahrbahnbreite $B = 6,50$ m).

Lippold zeigt auch, dass die Projektierungsgeschwindigkeit (V_{85}) für Streckenabschnitte stark linear mit steigender Kurvigkeit KU [gon/km] abnimmt. Der Zusammenhang von Sichtweiten und Projektierungsverlauf ist nur schwach ausgeprägt. Passende Trassierungselemente vorausgesetzt, nehmen bei Sichtweiten von über 150 m die gefahrenen Geschwindigkeiten Werte von über 100 km/h an [12].

Castro et al. vergleichen in ihrer Studie [3] die eigenen Messwerte aus Testfahrten mit entwickelten Modellen anderer Autoren zur Berechnung der Projektierungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Kurvenradius.

In der folgenden Tabelle sind die Autoren, Modelle zur Berechnung der V_{85} , das Erscheinungsjahr und die Nationalität der Autoren aufgeführt. Bei den aufgelisteten Modellen wurden dieselben bzw. gut vergleichbare Rahmenbedingungen und Voraussetzungen verwendet.

Tabelle 2: Übersicht von Modellen zur Berechnung der V_{85} (Quelle:[3])

Autor	Modellgleichung	Jahr	Staat
Lamm et al.	$V_{85} = 94.398 - 3188.656 / R$	1990	USA
Kanellaidis et al.	$V_{85} = 129.88 - 623.1 / (\sqrt{R})$	1990	Griechenland
Morrall & Talarico	$V_{85} = \exp(4.561 - 0.0058 \text{ DC})$	1994	Kanada
Fitzpatrick et al.	$V_{85} = 105.32 - 3438.19 / R$	1999	USA
Ottesen and Krames	$V_{85} = 102.44 - 1.57 \text{ DC} + 0.012 \text{ Lc} - 0.01 \text{ DC Lc}$	2000	USA
Castro et al.	$V_{85} = 120.16 - 5596.72 / R$	2008	Spanien

R... Radius (m)

DC... Kurvigkeit (°); „degree of curvature“

Lc... Kurvenlänge (m); „length of curve“

Kapitel 7.4.2 werden die gemessenen V_{85} -Werte der vorliegenden Arbeit mit einigen Modellen gegenübergestellt und damit verglichen.

2.4 Erkenntnisse aus der Literaturrecherche

Die Literaturrecherche zeigte, dass es eine große Anzahl an Studien und Modellen zur Berechnung und Bestimmung der Projektierungsgeschwindigkeit (V_{85}) gibt und diese auch in den österreichischen und deutschen Richtlinien (RVS 03.03.23 und RAS-L) als wichtige Planungsgrößen angeführt sind. Hingegen gibt es nur wenige Studien, die konkrete Messungen der Querschleunigung als Grundlage beinhalten. Für die Untersuchung von alters- bzw. geschlechtsspezifischen Unterschieden reichte oftmals die Anzahl an Probanden nicht aus.

Relevante Ergebnisse für die vorliegende Arbeit sind:

- Theoretisch sind Querschleunigungen bei trockener Fahrbahn (maximaler Haftbeiwert) von der 1,0 bis 1,1 fachen Erdbeschleunigung ($9,8 \text{ m/s}^2$ bis $10,8 \text{ m/s}^2$) möglich
- Gemessene Beschleunigungswerte liegen deutlich unter den theoretischen Werten; Maximalwerte zwischen $7,0$ und $8,0 \text{ m/s}^2$
- Die größten Querschleunigungswerte wurden bei kleinen Radien gemessen
- Anpassung der Geschwindigkeit bei kleinen Radien anhand der komfortablen Querschleunigung; bei großen Radien erfolgt eine Anpassung anhand der komfortablen Fahrgeschwindigkeit
- Aufgrund der zu kleinen Probandenanzahl konnte nur bei einer Studie ein signifikanter Unterschied im Fahrstil zwischen Männern und Frauen festgestellt werden
- Untersuchungen bezüglich altersmäßiger Unterschiede im Fahrstil wurden bislang nicht durchgeführt

- Frühere Messungen erfolgten bei Fahrten mit einem einzigen Testfahrzeug; die eigenen Kfz der Probanden kamen nicht zur Verwendung

3 Messungen bei Testfahrten – Rahmenbedingungen

3.1 Versuchsplanung – statistisches Modell

Die Versuchsplanung oder Design of Experiments (DoE) ist eine Methodik zur Planung, Durchführung und Auswertung von Versuchen und Messungen.

Da jeder Versuch Ressourcen (Zeit, Personal, Geräte, Kosten) benötigt, ist es wichtig, die Planung dahin gehend zu gestalten, dass mit möglichst wenigen Versuchen der Zusammenhang zwischen Einflussfaktoren (Alter, Geschlecht) und Zielgrößen (Querschleunigung, Geschwindigkeit) möglichst gut ermittelt werden kann [19].

Bei der Durchführung von Versuchen sollten die folgenden sieben Schritte berücksichtigt und angewendet werden [19]:

1. Exakte Formulierung des Problems bzw. der Aufgabenstellung
2. Angabe der Genauigkeitsanforderungen
3. Wahl eines passenden statistischen Modells
4. Optimale Planung des Versuchs (Ablauf und Zeitplan)
5. Durchführung des Versuchs (Messungen)
6. Statistische Auswertung der Messergebnisse
7. Interpretation der Ergebnisse

Bei der Versuchsplanung für die vorliegende Masterarbeit wurden diese sieben Arbeitsschritte möglichst genau umgesetzt.

Eine exakte Formulierung des Problems bzw. der Aufgabenstellung erfolgte in den Kapiteln 1.1 und 1.2. Die Genauigkeitsanforderungen werden im Kapitel 3.2 behandelt. Das verwendete statische Modell wird in diesem Kapitel beschrieben. Die Schritte 4 bis 7 werden ebenso der Reihe nach in dieser Arbeit abgehandelt.

Statistisches Modell

Definition laut [19]:

Ein statistisches Modell für das Ergebnis y eines statistischen Versuches ist durch eine Modellgleichung (gegebenenfalls mit Nebenbedingungen) und durch Verteilungsannahmen über die zufälligen Komponenten dieser Gleichung definiert.

Bei der vorliegenden Arbeit wurde ein lineares Modell mit festen Effekten (Modell 1) gewählt. Das Modell 1 besagt, dass a Stufen (Bsp.: $a = 2$ bei Variable „Geschlecht“) einer Variablen existieren und diese auch alle in den Versuch einbezogen werden (beide Geschlechter, alle Altersstufen).

Die Modellgleichung lautet:

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + e_{ij} + (\alpha\beta)_{ij}$$

Dabei ist:

y_{ij} Einzelmesswert eines Probanden (mit dem Geschlecht α_i und Alter β_j)
 μ Mittelwert aller Messungen bzw. der Grundgesamtheit
 α_i Zufallsvariable (Einfluss des Geschlechts)
 β_j Zufallsvariable (Einfluss des Alters)
 e_{ij} Zufallsfehler bzw. Störeffekte
 $(\alpha\beta)_{ij}$ Wechselwirkungen der Zufallsvariablen (Geschlecht – Alter)

Die Gleichung besagt, dass die einzelnen Messwerte jedes Probanden vom Mittelwert μ um $y_{ij}-\mu$ abweichen. Diese Abweichung ist durch den Einfluss des Geschlechts (α_i), des Alters (β_j) und zufälliger Störfaktoren bedingt. Um den Wirkzusammenhang der beiden festen Einflussfaktoren besser und genauer bestimmen zu können, müssen die Zufallsfehler durch passende Versuchsbedingungen bzw. konkrete Versuchsvorgaben minimiert werden [19].

Um diese Störeffekte zu reduzieren, wurden im Zuge der vorliegenden Arbeit unter anderem folgende Maßnahmen bzw. Vorkehrungen getroffen:

- Gleicher Informationsstand und identische Anweisungen für alle Probanden
- Selber Bekanntheitsgrad der Teststrecke aller Probanden
- Fahrten mit eigenen Kfz – keine Anpassung an Testfahrzeuge nötig
- Gleiche Witterungs- und Straßenzustände während der Testfahrten
- Messungen nur bei freier, ungehinderter Fahrt
- Betrachtung nur geeigneter Kurvenradien

3.1.1 Kovarianzanalyse

Für die Untersuchung, ob signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten verschiedener Probandengruppen bestehen, gibt es die Möglichkeit, eine Kovarianzanalyse durchzuführen.

Die Kovarianzanalyse ist ein Verfahren, das eine Varianzanalyse mit einer Regressionsanalyse kombiniert. Sie wird eingesetzt, um die Fehlervarianz der einfachen Varianzanalyse zu verringern [19].

Bei den Maßnahmen zur Reduktion von Störeffekten konnte allerdings nicht der Faktor der unterschiedlichen Kurvenradien berücksichtigt werden. Die Variable des Kurvenradius hat mit der inhaltlichen Hypothese (alters- und geschlechtsspezifische Unterschiede) nichts zu tun, beeinflusst allerdings dennoch die abhängige Variable (Querbesehleunigung) und wird deshalb als Störvariable bezeichnet und als Kovariate verwendet.

Die Regressionsanalyse entfernt die Varianz der Kovariate (Kurvenradien) aus der abhängigen Variablen (Querbesehleunigung). Dies geschieht, indem eine Regression der abhängigen Variablen auf die Kovariate berechnet wird. Die

Regressionsresiduen beschreiben den Anteil der Querschleunigung, der nicht durch die Kovariate erklärt werden kann. Diese Residuen werden als neue abhängige Variable in einer einfachen Varianzanalyse verwendet.

Als Residuum wird ein nicht durch den Prädiktor vorhersagbarer Rest der Variablen bezeichnet. Die Varianz der Residuen ist die Streuung der Datenpunkte um die Regressionsgerade. Sie ist gleichzusetzen mit der nicht vorhergesagten (erklärten) Varianz.

Das mathematische Vorgehen bei einer Kovarianzanalyse kann durch folgende Schritte beschrieben werden:

- Quadratsummenzerlegung beider Variablen (abhängige, Kovariate); Berechnung der Fehlerquadratsummen innerhalb und zwischen den Probandengruppen
- Produktsummenzerlegung (Produkte der Fehlerquadratsummen beider Variablen)
- Entfernen der Varianz der Kovariate: Berechnen der modifizierten Quadratsummen
- F – Test (Ermittlung der F-Prüfgröße, die testet, ob die Varianz zwischen den Gruppen größer ist als die Varianz innerhalb der Gruppe)

Das Softwareprogramm SPSS 15 bietet die Möglichkeit, eine Kovarianzanalyse auf einfache Weise durchzuführen. Dabei werden unter Angabe des gewünschten Signifikanzniveaus die F-Prüfzahl und die statistische Signifikanz ausgegeben.

Das Signifikanzniveau α wird auch als Risiko erster Art bezeichnet. Damit ist die Wahrscheinlichkeit, einen Fehler erster Art zu begehen, bestimmt.

Ein Fehler erster Art tritt dann auf, wenn eine gültige Nullhypothese abgelehnt wird, obwohl diese gilt.

Die Nullhypothese lautet für die vorliegende Arbeit:

H_0 : Es gibt keinen signifikanten alters- und geschlechtsspezifischen Unterschied

Bei der Auswertung dieser Masterarbeit wurde ein Signifikanzniveau von $\alpha = 5\%$ gewählt. Dies bedeutet, dass mit 95%iger Wahrscheinlichkeit die Aussagen, ob signifikante Unterschiede existieren, wahr sind.

Die Ergebnisse und die Interpretation der Berechnung mittels SPSS werden in Kapitel 7.1.1 erläutert.

3.1.2 Regressionsanalyse

Die Regressionsanalyse ist eine Methode um die Größe des Einflusses verschiedener Prädiktoren (Einflussfaktoren) zu ermitteln. Für die vorliegende Arbeit wurde eine multiple lineare Regressionsanalyse gewählt.

Dabei werden nach der Methode der kleinsten Quadrate (MKQ) die Regressionskoeffizienten geschätzt [19].

Ziel der Regressionsanalyse ist es somit, einen möglichst großen Prozentsatz der Varianz aus den Messwerten zu erklären. Die geschätzte Regressionsgerade lautet im Falle der vorliegenden Arbeit für die Querbesehleunigung folgendermaßen:

$$a_{quer} = k + a_q * A + b_q * G + c_q * R + d_q * M$$

Dabei sind:

a_{quer} zufällige Variable (hier die Querbesehleunigung)

k..... Konstante

A..... Alter in Jahre

G..... Geschlecht

R..... Radius in Meter

M..... Motorleistung in PS

a_q, b_q, c_q, d_q Regressionskoeffizienten für die Prädikatoren

Mittels SPSS ist die Bestimmung der Regressionskoeffizienten a_q, b_q, c_q, d_q möglich. Dabei deuten hohe Werte auf einen großen Einfluss auf die Zielvariable hin. Weiters zeigen die Ergebnisse den Anteil der erklärbaren Varianz anhand der Regressionsanalyse.

Die multiple lineare Regressionsanalyse wird in der vorliegenden Arbeit sowohl für die Querbesehleunigung, sowie für die Geschwindigkeit durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Kapitel 7.1.2 und Kapitel 7.2.2 zusammengefasst.

3.2 Auswahl und Einteilung der Probanden

3.2.1 Auswahl der Probanden

Bei der vorliegenden Arbeit wurden zwei verschiedene Aufgabenstellungen bearbeitet. Zum einen werden mögliche geschlechts- und altersspezifische Unterschiede im Fahrverhalten untersucht und zum anderen werden die gemessenen V_{85} -Werte mit den Werten aus der Literatur und der Überarbeitungsversion der österreichischen Richtlinien (RVS) verglichen. Demzufolge wurden für eine optimale Auswertung zwei verschieden große Probandengruppen zugrunde gelegt. Für den ersten Teil erfolgte eine Einteilung in Gruppen (siehe Kapitel 3.2.2), um mögliche Unterschiede zwischen diesen zu untersuchen. In einem weiteren Schritt wurde die Probandenzahl erweitert, um eine gute Anpassung an die österreichische Bevölkerungsstruktur zu erhalten (siehe Kapitel 3.2.3).

Für die Testfahrten wurden Personen aus dem Bekannten- und Freundeskreis des Autors als Probanden rekrutiert. Dies brachte einige wesentliche Vorteile:

- hohe Bereitschaft an den Testfahrten unentgeltlich teilzunehmen
- einfache und gute Terminkoordinierung
- entspannte Atmosphäre während der Testfahrten
- Bekanntheit der Teststrecke für alle Probanden annähernd gleich

3.2.2 Gruppenanzahl und Gruppengröße

Für die Untersuchung des Fahrverhaltens erfolgte eine Einteilung der Probanden in unterschiedliche Gruppen. Die Unterteilung erfolgte nach dem Geschlecht und dem Alter. Bei der Wahl der Altersgrenzen war zu beachten, dass die Altersspanne nicht zu klein gewählt wurde, da sonst insgesamt eine sehr hohe Anzahl von Probanden nötig gewesen wäre, um für jede Altersklasse ausreichend Messungen durchführen zu können. Im Gegenzug sollten allerdings die einzelnen Probanden innerhalb einer Altersklasse einen möglichst homogenen Fahrstil aufweisen.

Nach Abwägung dieser Bedingungen wurden drei Altersklassen pro Geschlecht mit je sechs Probanden gewählt. Dies ergab eine notwendige Gesamtanzahl von 36 Probanden.

Die Altersklassen reichten von 17 – 25 Jahren, 26 – 45 Jahren und 46 – 65 Jahren. Die erste Klasse beinhaltete Fahranfänger und Personen, die seit einigen wenigen Jahren Führerscheinbesitzer sind. Die zweite Gruppe umfasste Probanden mit einer Fahrerfahrung von rund zehn Jahren. In der dritten Gruppe wurden Personen zusammengefasst, die schon sehr lange Führerscheinbesitzer waren, allerdings noch als homogene Gruppe angesehen werden konnten.

Die Gruppengröße von 6 Probanden je Gruppe wurde gewählt, sodass einzelne „Ausreißer“ innerhalb der Gruppen kompensiert werden könnten und der Zeit- und Arbeitsaufwand bei der Durchführung und Auswertung der Testfahrten im machbaren Rahmen der Masterarbeit blieben.

3.2.3 Anpassung an die Verteilung der mittleren Fahrleistung

Für den zweiten Teil dieser Arbeit, den Berechnungen der V_{85} -Geschwindigkeiten, musste eine repräsentative Stichprobe aus der österreichischen Bevölkerung gezogen werden.

Als Vergleichsgröße wurde angedacht, die altersmäßige Verteilung der Führerscheinbesitzer für Österreich heranzuziehen. Nach einer Anfrage bei Statistik Austria bezüglich Unterlagen wurde am 02.02.2011 folgende Stellungnahme per E-Mail übermittelt:

„Statistik Austria hat die Daten zu allen im Führerscheinregister des Bundesrechenzentrums erfassten Führerscheinbesitzern erhalten und analysiert. Die ersten groben Analysen nach Altersklassen und Geschlecht, deren Ergebnisse der Zahl der Bevölkerung gegenübergestellt wurden, haben ergeben, dass die Registerdaten bezüglich der St erbefälle offenbar nicht i mmer aktualisiert worden sind. Das heißt, dass der Bestand an FS- Besitzern lt. Register viel zu hoch ist.“

Damit konnte eine Anpassung an die Verteilung der Führerscheinbesitzer in Österreich nicht vorgenommen werden. Daraufhin wurde eine Anpassung an die altersmäßige Verteilung der Fahrleistungen (km/Jahr) mit dem Privat-PKW vorgenommen.

Als Vergleich dienen dafür zwei unterschiedliche Verteilungen, die zum einen die prozentuelle Verteilung der Fahrleistungsanteile von Pkw-Fahrern [1] und zum anderen die mittleren jährlichen PKW – Kilometer nach Altersklassen [2] darstellen.

Da die 36 Probanden für den ersten Teil der Auswertung eine unzureichende Anpassung an diese Verteilungen dargestellt haben, wurde der Stichprobenumfang um vier zusätzliche Personen erweitert (Einbeziehung der Altersklasse +65). Demnach ergab sich für den zweiten Teil eine Gesamtprobandenzahl von 40 Personen.

Abbildung 11 zeigt den direkten Vergleich der Verteilung der Probandenaltersklassen mit der Verteilung der Fahrleistung nach Altersklassen laut ADAC [1]. Durch die vier zusätzlichen Testfahrten konnte die Altersstruktur der Stichprobe als durchwegs repräsentativ und vergleichbar angesehen werden.

Laut einer Studie von Bartl und Hager [2] ergibt sich für die Altersklasse 18-24 Jahre eine deutlich höhere Fahrleistung als jene, die vom ADAC angeführt wird [1]. Dies wurde bei der Wahl der Probanden berücksichtigt, indem dieser Altersklasse höhere Anteile zugeordnet wurden.

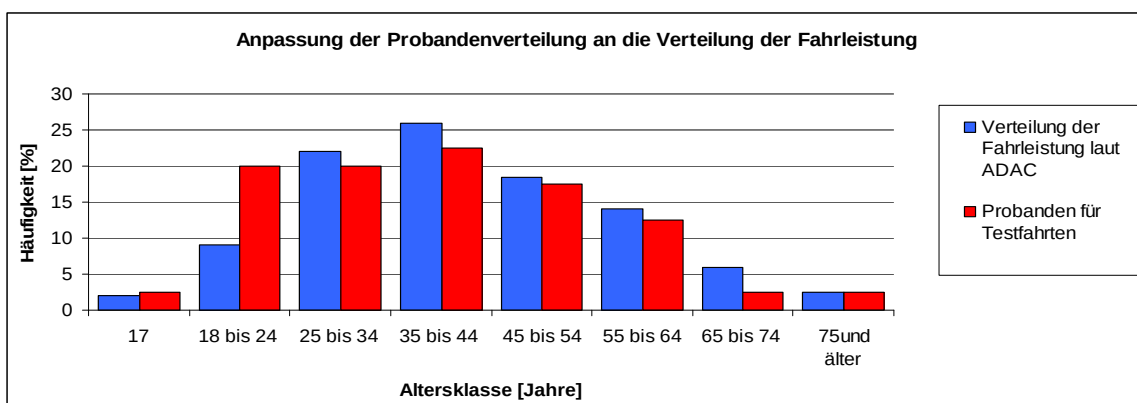


Abbildung 11: Anpassung der Probanden an die Fahrleistungen (Daten laut ADAC aus [1])

3.2.4 Ausbildungsstand und sozialer Hintergrund

Weiters wurde der Ausbildungsstand bzw. der soziale Hintergrund der Probanden mit der Verteilung für Österreich verglichen. Auch dieser Vergleich zeigte, dass es nicht zu einer einseitigen Wahl von Testfahrern gekommen war und die Stichprobe als repräsentativ bezeichnet werden konnte (siehe Abbildung 12).

Dabei wurde die höchstabgeschlossene Ausbildung gewertet. Unterschieden wurde zwischen folgenden Ausbildungsabschlüssen: Universität – Hochschule, Höhere Schule, Berufsbildende mittlere Schule, Lehre und Pflichtschule [23].

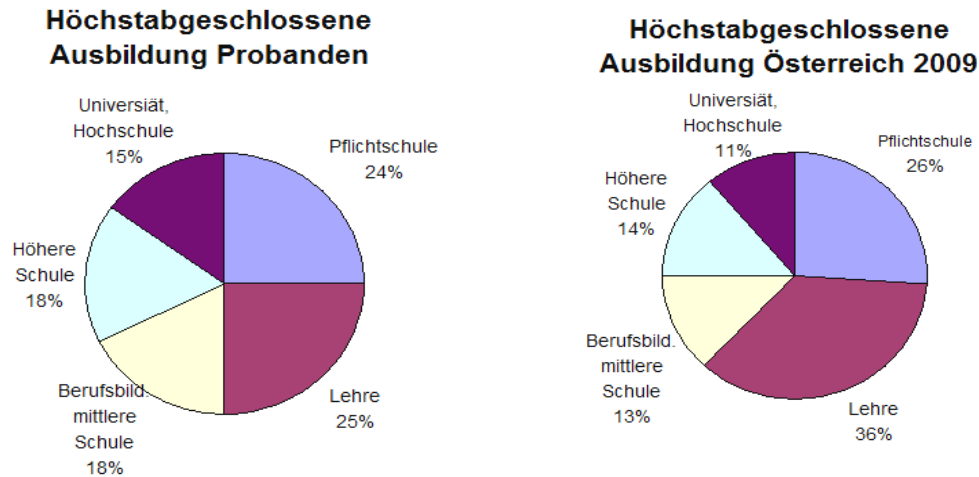


Abbildung 12: Vergleich der Ausbildungsstrukturen (Daten für Österreich aus [23])

3.3 Teststrecke

3.3.1 Wahl der Teststrecke

Bei der Wahl der Teststrecke wurden geeignete Streckenabschnitte möglichst nahe der Wohnorte der Probanden gewählt. Dies brachte zwei wesentliche Vorteile: Eine in der Nähe befindliche Teststrecke verringerte die Anfahrtszeit zur Strecke und reduzierte somit den Zeitaufwand der Probanden erheblich. Dadurch steigerte sich auch die Bereitschaft an den Testfahrten mitzuwirken. Ein weiterer positiver Effekt war die Tatsache, dass die Straßenabschnitte in der näheren Umgebung der Wohnorte der Probanden für alle Testfahrer annähernd gleich bekannt bzw. unbekannt waren. Dies reduzierte den Störeffekt des Bekanntheitsgrades der Strecke (vgl. Kapitel 3.1).

Der Bekanntheitsgrad wurde nach Beendigung der Testfahrt direkt von jedem Probanden erfragt. Abbildung 13 zeigt den tatsächlichen Bekanntheitsgrad der beiden Streckenabschnitte und verdeutlicht, dass der geforderte, einheitliche Bekanntheitsgrad beinahe vollständig gegeben war.

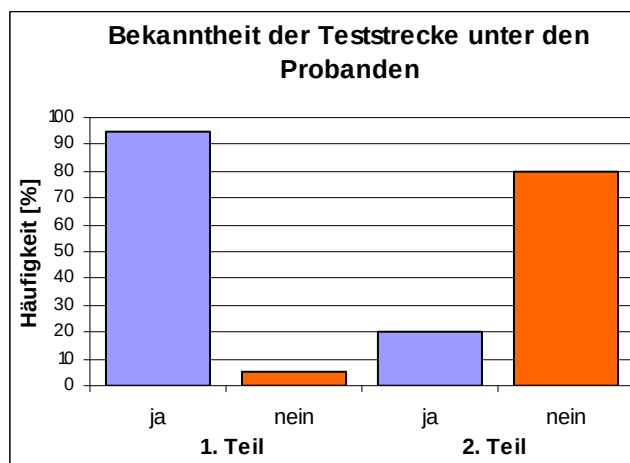


Abbildung 13: Bekanntheitsgrad der Teststreckenabschnitte

Weitere Anforderungen an die Teststrecke waren, dass eine möglichst hohe Anzahl an unterschiedlich großen Kurvenradien vorkommt und dass nur wenige Bereiche mit bestehender Geschwindigkeitsbeschränkung vorhanden sind. Die Strecke sollte auch keine großen Längsneigungen (vor allem Steigungen) aufweisen, da diese den Einfluss der Motorleistung wesentlich verstärken.

Zuletzt sollte noch eine Mindestfahrbahnbreite von 6,0 m gegeben sein, um Störeffekte (ein Abbremsen) beim Begegnen zweier Fahrzeuge, speziell hier beim Entgegenkommen eines Lkws bzw. Traktors, zu vermeiden.

Zusammenfassend wurden folgende Anforderungen an die Teststrecke gestellt:

- Nähe zu den meisten Probanden (Zeitaufwand, Bekanntheitsgrad)
- Große Anzahl an verschiedenen Kurvenradien
- Mindestfahrbahnbreite von 6,0 m
- Großteils ohne Geschwindigkeitsbeschränkungen
- Kleine Längsneigungen

Unter Rücksichtnahme dieser Anforderungen an die Teststrecke wurde das Straßennetz südwestlich von St.Pölten, Niederösterreich zuerst anhand von Straßenkarten auf geeignete Abschnitte geprüft. Danach erfolgte eine Befahrung und Begutachtung der vorab ausgewählten Streckenabschnitte.

Die gewählte Teststrecke befand sich südwestlich von St.Pölten, Niederösterreich (siehe Abbildung 14).

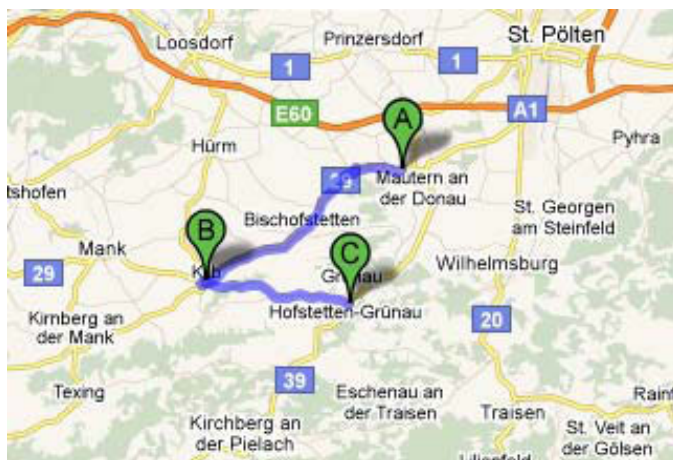


Abbildung 14: Übersichtskarte mit eingezeichneter Lage der Teststrecke (Quelle: google maps)

3.3.2 Beschreibung des Streckenverlaufes

Die gewählte Teststrecke gliederte sich in zwei Streckenabschnitte. Der erste Streckenabschnitt verlief von der Ortsausfahrt 3200 Obergrafendorf über die B29, der Manker Landesstraße nach 3233 Kilb. Durchfahrene Ortschaften mit bestehender Geschwindigkeitsbegrenzung waren Wilhersdorf (Tempo 70 bzw. 50 km/h), Rammersdorf (Tempo 50 km/h), Bischofstetten (Tempo 50 km/h) und Mallau (Tempo 70 km/h).

In Kilb begann der zweite Abschnitt der Teststrecke. Dieser verlief vom Ortsende von Kilb über die L5236 bis zur Kreuzung mit der B39, südlich von 3202 Hofstetten

– Grünau. Hier war nur am Ende der Teststrecke, im Bereich der Ortschaft Grünsbach, ein Tempolimit von 70 km/h vorhanden. Abbildung 15 zeigt die beiden Streckenabschnitte und die wesentlichen Ortschaften.

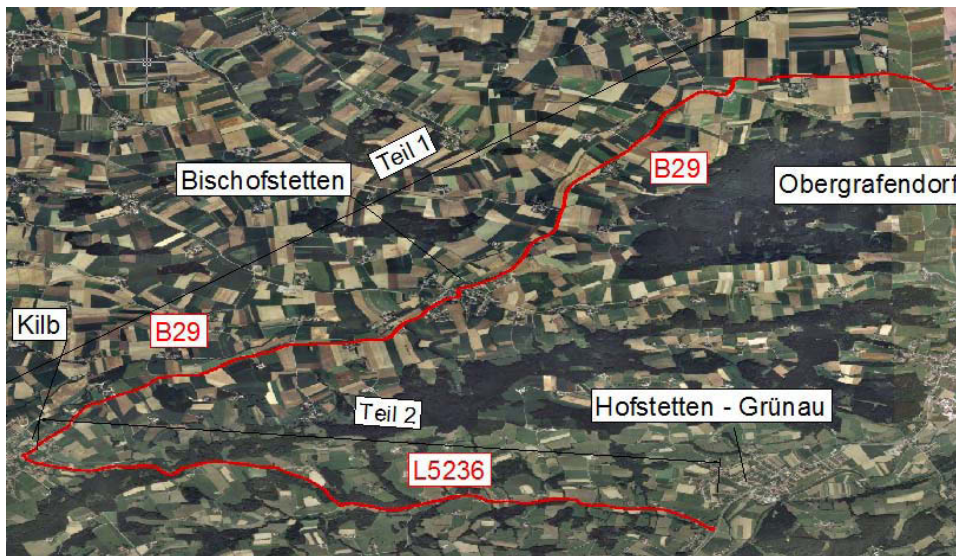


Abbildung 15: Satellitenbild mit Verlauf und Einteilung der Teststrecke (Satellitenbild aus google maps)

3.3.3 Kenngrößen der Strecke - Bestimmung geeigneter Kurven

Teil 1 der Teststrecke weist eine Länge von rund 11,9 km auf. Er verläuft auf der B29, der Manker Landesstraße von Obergrafendorf bis nach Kilb. Die Fahrbahn weist durchgehend eine Breite von mindestens 6,0 m auf. Die beiden Fahrstreifen werden durchgehend durch eine Leitlinie voneinander getrennt. Das Terrain kann als flach bis leicht hügelig betrachtet werden. Somit treten nur geringe Längsneigungen auf, die größtenteils unter 3% betragen.

Der zweite Abschnitt ist rund 7,4 km lang und verläuft von Kilb über die L5235 bis zum Kreuzungsbereich mit der B39. Diese Landesstraße weist durchgehend eine Straßenbreite von < 6,0 m auf und ist durch keine Leitlinie markiert. In diesem Streckenteil treten, im Gegensatz zum Teil 1 der Teststrecke, auch größere Längsneigungen auf, die allerdings bei der Wahl von geeigneten Radien berücksichtigt wurden.

Diese beiden Teilstücke ergeben für die Teststrecke eine Gesamtlänge von rund 19,3 km. Bei den Testfahrten wurde diese Strecke in beide Richtungen befahren. Dies bedeutete eine Verdopplung der gefahrenen Streckenlänge zu 38,6 km. Die mittlere Fahrzeit betrug für die komplette Testfahrt (beide Richtungen) rund 40 Minuten.

Auswahl von geeigneten Kurven

Die Teststrecke beinhaltet eine sehr große Anzahl an verschiedenen Kurvenradien (Anzahl > 100), von denen jedoch nur ein Teil als passend bzw. geeignet für eine Auswertung ist.

Bei der Wahl der Kurvenradien, die für eine Auswertung der Messdaten herangezogen wurden, mussten einige Bedingungen bzw. Überlegungen beachtet werden:

- Radiengrößen liegen zwischen 50 m und 400 m; größere Radien weisen sehr kleine Querschleunigungen auf und die Anpassung der Geschwindigkeit erfolgt nicht anhand der Straßengeometrie, sondern aufgrund der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h auf Freilandstraßen;
- Kurven ohne zusätzliche Geschwindigkeitsbeschränkung, demnach keine Kurven in Ortsgebieten;
- Mindestlänge der Kreisbögen von 50 m; dies entspricht einer Fahrtzeit in der Kurve von rund zwei Sekunden und reduziert das Auftreten des „Kurvenschneidens“;
- Kurven mit nur geringen Längsneigungen, anderenfalls würde die Motorleistung großen Einfluss auf die gefahrene Geschwindigkeit bzw. die auftretende Querschleunigung haben;
- Keine Kurven unmittelbar nach kleineren Kurven bzw. direkt nach Ortsgebieten (Bereiche mit Geschwindigkeitsbeschränkung <100 km/h), da die gefahrene Geschwindigkeit in diesen Kurven stark von den vorausgehenden Bedingungen beeinflusst wird.

Nach Berücksichtigung dieser Bedingungen konnten insgesamt 40 Kurven für Messungen bzw. eine anschließende Auswertung herausgefiltert werden. 26 Kurven lagen auf dem ersten Streckenabschnitt, 14 Kurven befanden sich auf dem zweiten Abschnitt.

Die Bogenlängen und die Radiengröße wurden für diese Kurven aus vorhandenen Daten des RoadSTARs herausgelesen. Diese wurden vom AIT zur Verfügung gestellt. Eine Beschreibung dieser Daten erfolgt in Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**

Tabelle 3 zeigt eine Zusammenfassung der ausgewählten Radien bzw. die Einteilung in Radienklassen gemäß [7] mit der Anzahl an vorkommenden Radien in der jeweiligen Klasse.

Tabelle 3: Übersicht der Kurvenradien für die Streckenteile bzw. Einteilung in Radienklassen

Streckenabschnitt 1				Streckenabschnitt 2	
Nr.	Radius [m]	Nr.	Radius [m]	Nr.	Radius [m]
1	290	15	143	27	212
2	282	16	157	28	107
3	281	17	231	29	176
4	291	18	226	30	176
5	247	19	300	31	108
6	243	20	288	32	108
7	292	21	256	33	160
8	299	22	243	34	177
9	363	23	199	35	218
10	340	24	195	36	222
11	222	25	165	37	146
12	230	26	156	38	146
13	248			39	71
14	243			40	93

Gruppierung der Radien
(gemäß [7])

Radienklasse	Anzahl
60-99 m	2
100-149 m	6
150-229 m	14
230-329 m	16
330-429 m	2

Abbildung 16 zeigt die Lage der gewählten Kurvenradien inklusive der Größe des Kreissegmentes. Jedem Kreis sind zwei Kurvennummern bzw. Radien zugeordnet (Ausnahmen sind Kurven 27, 28, 39 und 40). Dies ist durch das zweimalige Befahren der Teststrecke bedingt. So ist beispielsweise die Kurve 1 mit Radius $R = 290$ m bei der Hinfahrt, die Kurve 2 mit Radius $R = 281$ m bei der Rückfahrt gemessen worden.

Die oben erwähnten Ausnahmen wurden wegen zu großer Steigungen oder zu knapper Kurvenfolgen nur in eine Fahrtrichtung betrachtet.

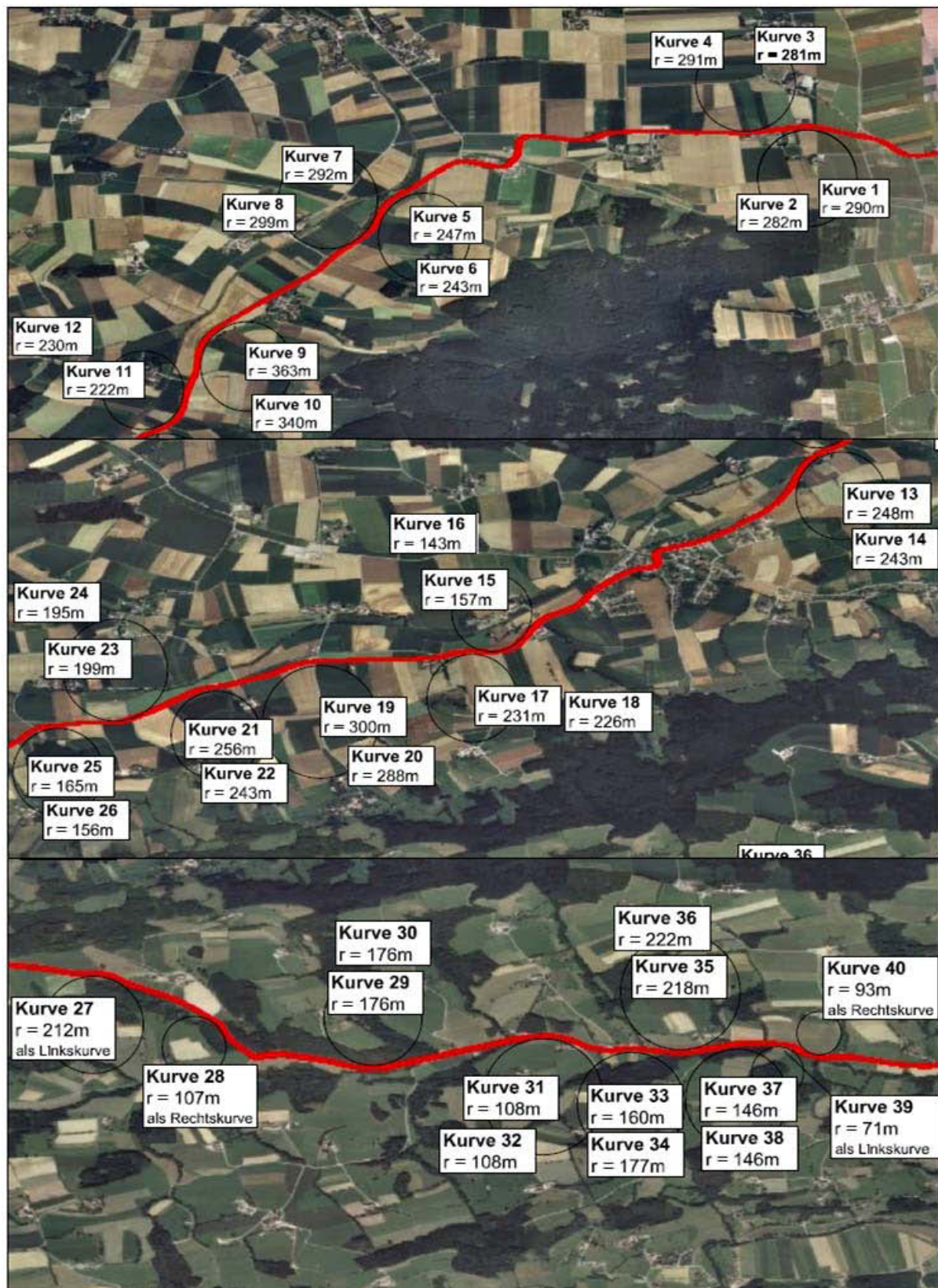


Abbildung 16: Übersicht der Situierung der einzelnen Kurven (Satellitenbild aus google maps)

3.4 Aufnahme- und Messgeräte

Die Aufnahme- und Messgeräte wurden vom Mobility Department des Austrian Institutes of Technology (AIT), 1210 Wien zur Verfügung gestellt und kalibriert.

3.4.1 Beschleunigungsmesser

Die Messung der Querschleunigung erfolgte mittels eines triaxialen Beschleunigungssensors der Marke 8393A2 K-Beam der Firma KISTLER. Dieser ermöglichte eine simultane Messung von Beschleunigungen in niederen Frequenzbereichen für drei Achsen [11]. Dabei konnten Beschleunigungswerte bis zu $\pm 2\text{ g}$ in einem Frequenzbereich von 0 bis 300 Hertz gemessen werden.

Funktionsweise:

Der kapazitive Beschleunigungssensor enthält drei Silikonelemente pro Achse. Zwei statische Plattenkondensatoren, die als Elektroden agieren, werden durch ein abgefedertes Pendel getrennt. Bei auftretenden Kräften bewirkt eine Bewegung des Pendels eine Änderung des Kapazitätsverhältnisses der Kondensatoren. Diese Änderungen des elektrischen Feldes werden in Werte für die Beschleunigungen in den drei Achsen umgerechnet. Umgeben ist der Sensor von einem Aluminiumgehäuse.

Zur besseren Handhabung und zur leichteren Montage wurde der Beschleunigungssensor auf eine Magnetplatte montiert (siehe Foto 1).



Foto 1: Beschleunigungssensor mit Magnetplatte

3.4.2 GPS Empfänger

Parallel zur Messung der Beschleunigungswerte erfolgte eine Koordinatenaufzeichnung und die Messung der Fahrtgeschwindigkeit mittels eines GPS Empfängers der Firma RoyalTek [22].

Die GPS Maus der Marke RBT-2001 (siehe Foto 2), die auf einem SiRF Star III Chipsatz aufbaut, übermittelte die Daten direkt über Bluetooth an den Laptop. Zur Kontrolle und zur besseren Planung der Messfahrten war diese Version der GPS Maus mit je einem Kontrolllämpchen für den Batteriestatus, den GPS Status und für den Bluetooth Status ausgestattet. Dadurch konnte rasch überprüft werden, ob eine Verbindung zu den anderen Messgeräten oder ein niedriger Batteriestatus bestand.



Foto 2: GPS Maus der Firma RoyalTek

3.4.3 Gerätekofter und Laptop

Durch Verwendung eines Gerätekofters konnten zum einen die Messgeräte sicher und kompakt transportiert werden und zum anderen erfolgte durch diesen auch die Stromversorgung des Beschleunigungssensors und des Laptops. Um dies zu bewerkstelligen enthielt der Koffer unter anderem einen Wechselrichter für den 12 Volt Anschluss im Pkw.

Ebenso erfolgte die Datenübertragung des Beschleunigungssensors über das Stromkabel zum Gerätekofter und im Anschluss zum Laptop.

Der handelsübliche Laptop zeichnete mittels des von AIT entwickelten Softwareprogramms „DataLogger“ die Messdaten auf und wandelte diese automatisch in Excel Tabellen um.

3.4.4 Lasermessgerät für Kontrollmessungen

Für die Durchführung der Kontrollmessungen wurde eine mobile Laserpistole der Bauart LR90-235/P verwendet (siehe Foto 3). Diese zeichnete neben der Entfernung zum gemessenen Fahrzeug die Geschwindigkeit in einem Messbereich von 10 bis 250 km/h auf. Die Stromversorgung erfolgte über einen 12 Volt DC Akku.

Eine automatische Speicherung der gemessenen Daten war mithilfe der Laserpistole nicht möglich, deshalb wurden diese manuell per Hand niedergeschrieben.



Foto 3: Laserpistole LR90-235/P, Seitenansicht und Display

4 Durchführung der Testfahrten

4.1 Vorbereitungen

Als Vorbereitung und Information wurde allen Probanden vorab ein Informationszettel mit Fragebogen ausgehändigt. Ein Exemplar des Fragebogens ist im Anhang dieser Arbeit beigefügt.

Bei der Terminkoordinierung wurde darauf geachtet, dass der Termin frei von den Probanden gewählt werden konnte. Dadurch sollte verhindert werden, dass Zeitwänge zu rasanteren Fahrten als gewöhnlich führten. Unter Berücksichtigung der Vorgabe, dass Messungen nur bei freier Fahrt stattfinden sollten, wurden die Termine möglichst nicht in der Abendspitze des Berufsverkehrs fixiert.

Treffpunkt vor jeder Testfahrt war der Wohnort des Probanden. Dort erfolgte der Einbau der Messgeräte in die Privatautos der Testfahrer. Dadurch kam automatisch eine Einfahrphase vom Wohnort bis zum Startpunkt der Teststrecke zustande.

Der Beschleunigungssensor wurde mittels Magnetplatte zentral im vorderen Bereich des Autodaches angebracht. Die Verkabelung mit dem Gerätekoffer erfolgte über ein leicht geöffnetes Seitenfenster. Die GPS Maus wurde im vorderen Bereich des Cockpits auf der Armatur platziert und gegen verrutschen gesichert, um einen möglichst guten Empfang zu gewährleisten.

Nach dem Einbau aller Geräte erfolgte eine visuelle Kontrolle der Funktionalität des Beschleunigungssensors und der GPS Maus mittels der Anzeigen des Data-Loggers (siehe Foto 4).

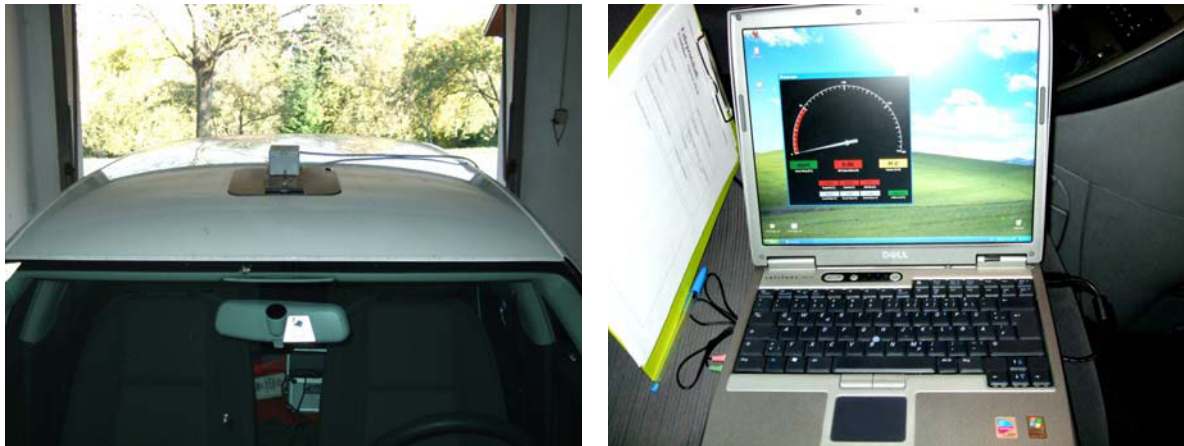


Foto 4: Platzierung des Beschleunigungssensors; Benutzeroberfläche des DataLoggers

4.2 Beschreibung des Ablaufes

Nach Anbringung der Messgeräte erfolgten noch kurze Instruktionen für die Probanden zum Ablauf der Testfahrt. Zum einen wurde die Anweisung einer „normalen Fahrt“ ausgegeben und zum anderen die Notwendigkeit der „freien Fahrt“ erklärt.

Als Gewöhnungsphase diente meist die Fahrt vom Wohnort bis zum Ausgangspunkt der Testfahrten, nach 3200 Obergrafendorf. Dies ermöglichte den Probanden sich an die Situation zu gewöhnen und mögliche Nervosität oder Anspannung abzulegen.

Vor Beginn der eigentlichen Messungen erfolgte noch eine Kalibrierung des Beschleunigungssensors auf einer ebenen Stellfläche im Ortsgebiet von Obergrafendorf.

Die Messungen begannen per Tastenklick, möglichst unauffällig für den Probanden, bei Passieren der Ortsausfahrt Obergrafendorf. Während der Testfahrt wurden bis auf wenige Ausnahmen keine Anweisungen bezüglich der Fahrt gegeben. Bei längerer Behinderung der Testfahrt durch Kolonnenverkehr hinter einem landwirtschaftlichen Fahrzeug oder Lastwagen wurde nach Möglichkeit angehalten und auf eine längere Zeitlücke für eine unbehinderte Fahrt gewartet. Weitere Anweisungen erfolgten nur bezüglich der Fahrtstrecke.

4.3 Aufzeichnungen

Simultan wurden bei jeder Testfahrt die momentane Fahrtgeschwindigkeit, die auftretenden Beschleunigungen in den drei Achsen, die GPS – Koordinaten und ein Audiostream aufgenommen. Diese gemessenen Daten waren laufend über die Benutzeroberfläche des DataLoggers kontrollierbar (siehe Foto 4 / 2).

Bei Beeinflussungen der normalen Fahrt durch andere Verkehrsteilnehmer (Fußgänger, Radfahrer, andere Kfz) wurden Marker per Tastenklick gesetzt und die Art der Beeinflussung mittels Headset auf den Audiostream gesprochen.

Am Ende der Testfahrt wurde ein Fahrtenprotokoll ausgefüllt. In diesem wurden unter anderem die Uhrzeiten für den Beginn und das Ende der Testfahrt, die Witterung, die Motorleistung des Pkw und ein persönlicher Kommentar des Probanden zur Testfahrt notiert. (Ein Exemplar des Fahrtenprotokolls ist im Anhang beigelegt).

5 Durchführung von Kontrollmessungen

Lasermessungen der Geschwindigkeit von zufällig vorbeifahrenden Pkw und die anschließende Berechnung der V_{85} -Geschwindigkeiten für einzelne Kurvenradien machen einen Vergleich mit den ermittelten Werten aus den Testfahrten möglich. Dadurch können Aussagen über einen eventuell auftretenden situationsbedingten Effekt getätigt werden, der auf der Tatsache beruht, dass die Probanden wussten, dass es sich um Testfahrten mit Messungen handelt. Bei etwa vergleichbaren V_{85} -Geschwindigkeiten kann davon ausgegangen werden, dass die Testfahrten normalen Fahrten entsprachen.

Insgesamt wurden Lasermessungen für acht Kurvenradien vorgenommen. Dies erfolgte in vier Bereichen, wobei pro Kurve beide Fahrtrichtungen gemessen wurden.

Die gewählten Kurven beinhalteten die gesamte Bandbreite an Bogenradien (Radien von 71 m bis 290 m) und boten die Möglichkeit, die Messungen möglichst unbemerkt durchzuführen.

Für jeden Radius wurden zwischen 50 und 80 Messungen durchgeführt und notiert. Gemessen wurden frei fahrende Pkw und Kleinbusse.

Abbildung 17 zeigt eine Übersichtskarte der gewählten Kurven bzw. die Positionierung der Messpunkte.

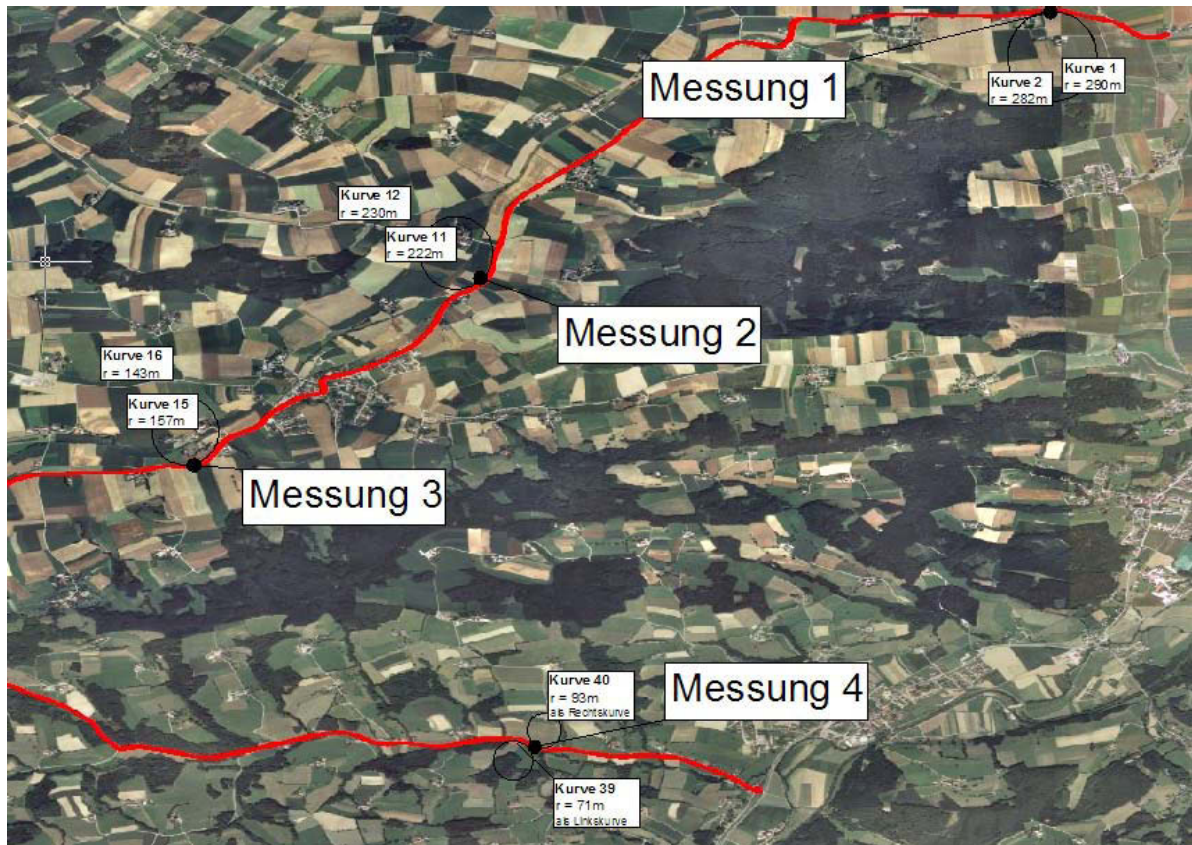


Abbildung 17: Übersichtskarte der Kontrollmessungen (Luftbild aus google maps)

6 Datenanalyse - Auswertung und Verknüpfung von Daten

6.1 Datenaufbau

In der vorliegenden Arbeit werden Daten unterschiedlichen Ursprungs und von verschiedener Beschaffenheit miteinander verknüpft und ausgewertet. Dabei handelt es sich um Straßengeometriedaten (Kurvenradien, Querneigung), die von der Firma AIT erhoben und zur Verfügung gestellt wurden. Informationen zu den Probanden und zu den Bedingungen bei den Testfahrten werden aus Fragebögen und Fahrprotokollen ermittelt. Beschleunigungswerte und Geschwindigkeiten bei den Testfahrten stammen aus den Aufzeichnungen des Softwareprogramms DataLogger.

6.1.1 Straßengeometriedaten

Die Straßengeometriedaten wurden vom Hochleistungsmessgerät RoadSTAR aufgenommen. Der RoadSTAR ist eine Entwicklung der Firma AIT in Zusammenarbeit mit dem „Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart“. Dabei handelt es sich um einen zweiachsigen Lkw der Marke ÖAF. Mit dem RoadSTAR können im laufenden Verkehr bei Messgeschwindigkeiten von 40 km/h bis 120 km/h die wichtigsten Oberflächeneigenschaften der Fahrbahn und

Straßengeometrieparameter erhoben werden. Diesen Daten wird mittels differentiell korrigiertem GPS, sowie einer IMU Koordinatenpunkte zugeordnet.

Das Fahrzeug enthält unter anderem Einrichtungen zur Messung der Griffigkeit, der Längs- und Querebenheit, der Kurvenradien [13].

Für den ersten Teil der Teststrecke, dem Abschnitt zwischen Obergrafendorf und Kilb liegen Messdaten des RoadSTARs vor. Daraus können die Bogenradien und die dazugehörigen Querneigungen für die betrachteten Kurven bestimmt werden. Durch die Verknüpfung der Daten mit GPS Koordinaten können die Messwerte als Straßengraph dargestellt werden.

Das von der Firma AIT entwickelte Softwareprogramm Geometry Classifier wurde im Zuge dieser Arbeit verwendet, um aus den Trassierungsparametern (Kurvenradius, Kurvenkrümmung und GPS Daten) der RoadSTAR-Messungen die Segmentgrößen (Bogenradien) und Segmentlängen (Bogenlängen) zu bestimmen. Durch Verwendung geeigneter Filter konnte die Unterscheidung nach Geraden, Klotoiden und Kreisbögen verfeinert und korrigiert werden.

Abbildung 18 zeigt die Benutzeroberfläche des Geometry Classifier mit einer Visualisierung des Straßengraphs, der die Trassierungselemente wiedergibt. Im unteren Bereich kann die Größe und Länge der einzelnen Elemente herausgelesen werden.

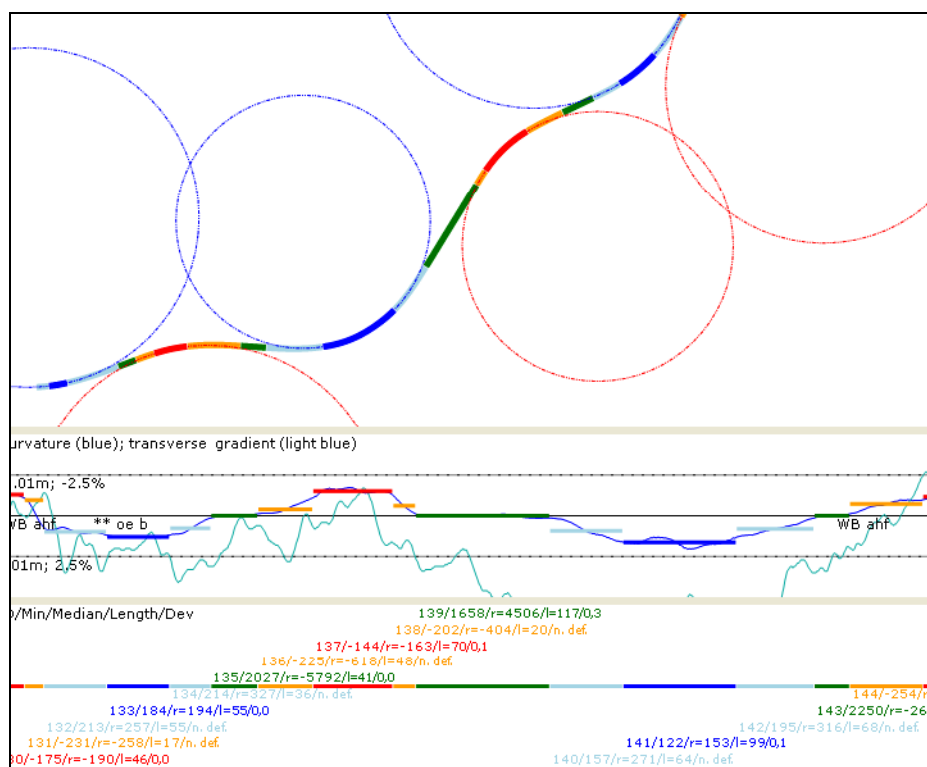


Abbildung 18: Benutzeroberfläche des Geometry Classifier (Quelle: AIT)

6.1.2 Daten aus Fragebögen und Fahrtenprotokollen

Die Daten aus den Fragebögen und den Fahrtenprotokollen dienen der Charakterisierung der Probanden und als Grundlage für die Bewertung von Störeffekten, wie etwa der Bekanntheit der Teststrecke oder dem Ausbildungsgrad (siehe Kapitel 3). In den Fahrtenprotokollen wurden unter anderem die äußeren Verhältnisse während der Testfahrten und Kommentare der Probanden zur Fahrt festgehalten. Dadurch wurde den Probanden die Möglichkeit gegeben, im Nachhinein ihre eigene Testfahrt zu beurteilen und eventuelle Unterschiede zum normalen Fahrstil anzugeben.

Abbildung 19 zeigt exemplarisch eine Auswertung der abgefragten Daten. Die Graphik zeigt die Verteilung der Motorleistung der Privatautos, aufgeteilt in sieben Klassen. Der Einfluss der Motorleistung auf das Fahrverhalten der Probanden wird neben anderen Faktoren mittels Regressionsanalyse in Kapitel 7.1.2 untersucht.

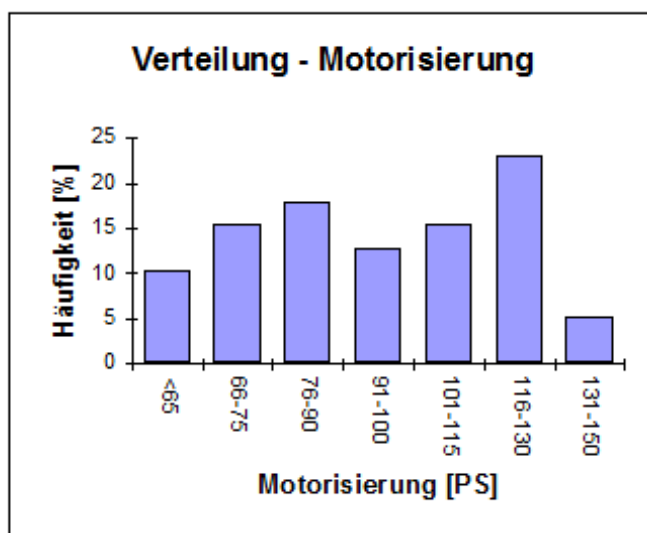


Abbildung 19: Daten aus Fragebögen und Fahrtenprotokollen

6.1.3 Messdaten aus Testfahrten – DataLogger

Während der Testfahrten wurden synchron verschiedene Daten aus den Messgeräten durch den DataLogger dargestellt und aufgezeichnet. Konkret wurden die Beschleunigungswerte in x-, y-, und z-Richtung, die GPS-Koordinaten der Lage, die Seehöhe, die Geschwindigkeit und eventuell gesetzte Marker als Excelfiles gespeichert.

Die Aufzeichnungen erfolgten mit einer Frequenz von 10 Hertz. Dies ergab pro Testfahrt Datenpakete von rund 20.000 Messpunkten.

Gleichzeitig zu den Messungen mit dem DataLogger erfolgte eine Aufzeichnung von MP3-Audioformaten der Gespräche per Headset. Dadurch konnten den gesetzten Markern Ereignisse während der Testfahrt zugeordnet werden.

6.2 Vorgangsweise bei der Auswertung der Messdaten

6.2.1 Bereinigung der Messdaten

Als erster Schritt bei der Auswertung mussten die Messdaten von den, per Marker gekennzeichneten, Abschnitten mit beeinträchtigter Fahrt bereinigt werden. Dadurch konnte sichergestellt werden, dass bei den anschließenden Auswertungen nur noch Daten von ungehinderten Fahrabschnitten verwendet wurden. Die Löschung beeinträchtigter Bereiche verminderte zwar die Menge an verwendbaren Messdaten, trug aber maßgeblich zur korrekten Berechnung von akzeptierten Querschleunigungen oder V_{85} -Geschwindigkeiten bei.

Mittels Suchfunktion konnten die großen Datenmengen in den Excelfiles schnell auf gesetzte Marker durchsucht werden. Der Zeitpunkt des gesetzten Markers wurde auf den dazugehörigen Audiostreams eingestellt und etwaige Aufzeichnungen angehört. Nun konnte nachvollzogen werden, zu welcher Art von Beeinträchtigung es gekommen war und ob eine tatsächliche Beeinflussung der „freien Fahrt“ gegeben war. Durch die Betrachtung der Messdaten in einem Bereich um den gesetzten Marker war es möglich, den Beginn und das Ende der Beeinträchtigung (rasche Änderungen der Geschwindigkeit, Brems- und Ausweichmanöver, etc.) zu ermitteln. Der gesamte Bereich wurde danach gelöscht.

Bei einigen Messfahrten kam es zu Problemen mit der Setzung der Marker. Bei diesen Datensätzen wurden die Marker nicht gespeichert und somit mussten die gesamten Audiostreams auf etwaige Beeinflussungen durchsucht werden.

6.2.2 Verknüpfung der Datensätze in ArcGIS

Bei den Auswertungen für die vorliegende Masterarbeit war es nötig, unterschiedliche Datensätze zu verknüpfen. Dies erfolgte anhand des Softwareprogramm ArcGIS.

Da die von AIT zur Verfügung gestellten Streckendaten und die Messdaten GPS Koordinaten enthielten, konnten diese lagerichtig in einem Koordinatensystem zusammengefügt werden. Dies ergab einen Straßengraphen, der als punktierte Fahrlinie aufgebaut war und der für die weiteren Auswertungen herangezogen werden konnte. Zur leichteren Identifikation von Ortsgebieten und zur besseren Veranschaulichung wurde ein Satellitenbild als Hintergrund eingefügt.

Abbildung 20 zeigt ein Beispiel für den generierten, in blau gehaltenen Streckengraphen. Jeder Punkt dieses Graphen entspricht einer Messung mit dem Abstand von 0,1 Fahrsekunden. Die roten Kreissegmente stammen aus den RoadSTAR Daten, welche einen Abstand von einem Rollmeter aufweisen.

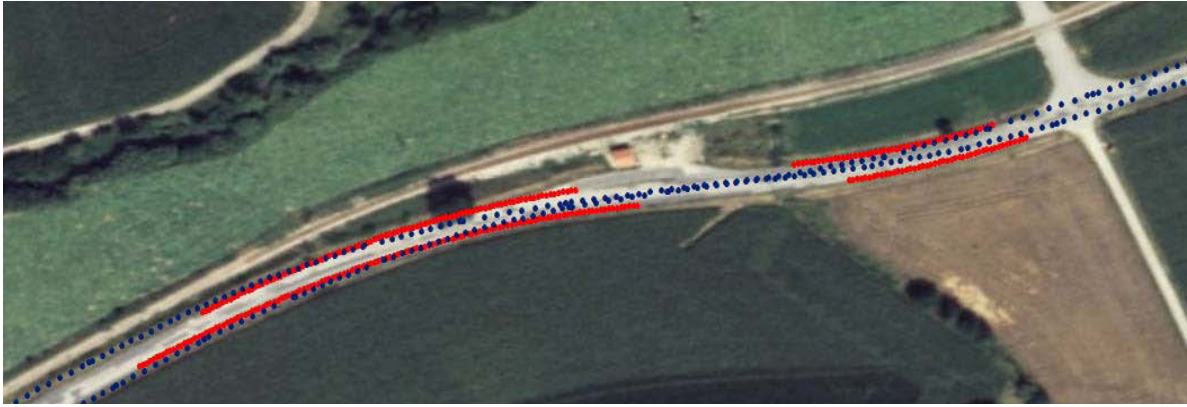


Abbildung 20: Streckengraph aus Messdaten und Kurvensegmente aus RoadSTAR Daten

6.2.3 Visualisierung der Querbeschleunigungen und Geschwindigkeiten

Der in Kapitel 6.2.2 beschriebene Straßengraph der Teststrecke stellte auch die Grundlage für eine Darstellung der gemessenen Beschleunigungswerte und Geschwindigkeiten dar.

Durch die Definition von Klassen und deren unterschiedlicher Einfärbung war es möglich, die Größe der Messdaten optisch darzustellen. Demnach unterschieden sich nun Kurvenbereiche mit hohen Querbeschleunigungen farblich von gestreckten Streckenabschnitten mit niedrigen Beschleunigungswerten. Dasselbe Prinzip wurde auch für die Darstellung der Geschwindigkeitsdaten angewandt.

Durch diese Visualisierung der Messdaten war es möglich, rasch und ohne zeitaufwendige Begutachtung der Datensätze, Streckenabschnitte mit maximalen und minimalen Beschleunigungswerten und Geschwindigkeiten zu finden.

Neben der Auffindung von Bereichen mit hohen Messwerten bot die Visualisierung der Querbeschleunigung und der Geschwindigkeit auch die Möglichkeit, auf einfache Weise die Fahrten von verschiedenen Probanden zu vergleichen.

Abbildung 21 und Abbildung 22 zeigen einen optischen Vergleich von den gemessenen Querbeschleunigungen und Geschwindigkeiten dreier Probanden. Um einen höheren Kontrast zwischen den einzelnen Fahrten zu erzielen, wurden in dem angeführten Beispiel die Werte eines „Langsam-, eines Mittel- und Schnellfahrers“ dargestellt. In diesem Beispiel treten beim „Langsamfahrer“ keine Querbeschleunigungen $> 3 \text{ m/s}^2$ auf (keine orangefarbenen Bereiche). Dies ändert sich bei Betrachtung desselben Streckenabschnittes für den „Normal- und Schnellfahrer“. Bei diesen beiden Probanden treten Querbeschleunigungen größer $3,0 \text{ m/s}^2$ bzw. bis $4,5 \text{ m/s}^2$ auf.

Ebenso sind deutliche Unterschiede der gemessenen Geschwindigkeiten für die einzelnen Streckensegmente zu erkennen.

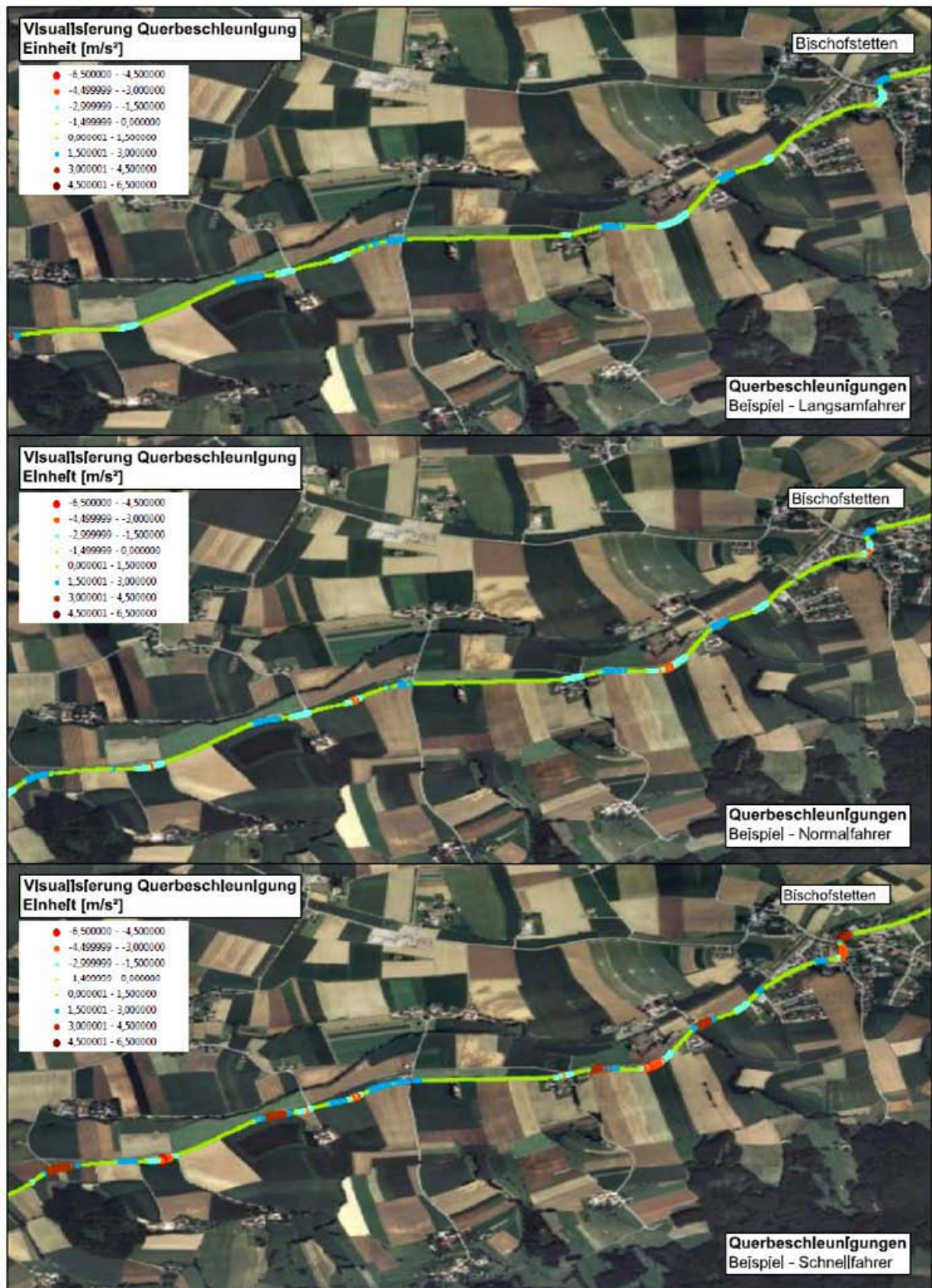


Abbildung 21: Optischer Vergleich anhand der gemessenen Querbeschleunigungen beispielsweise für 3 Probanden

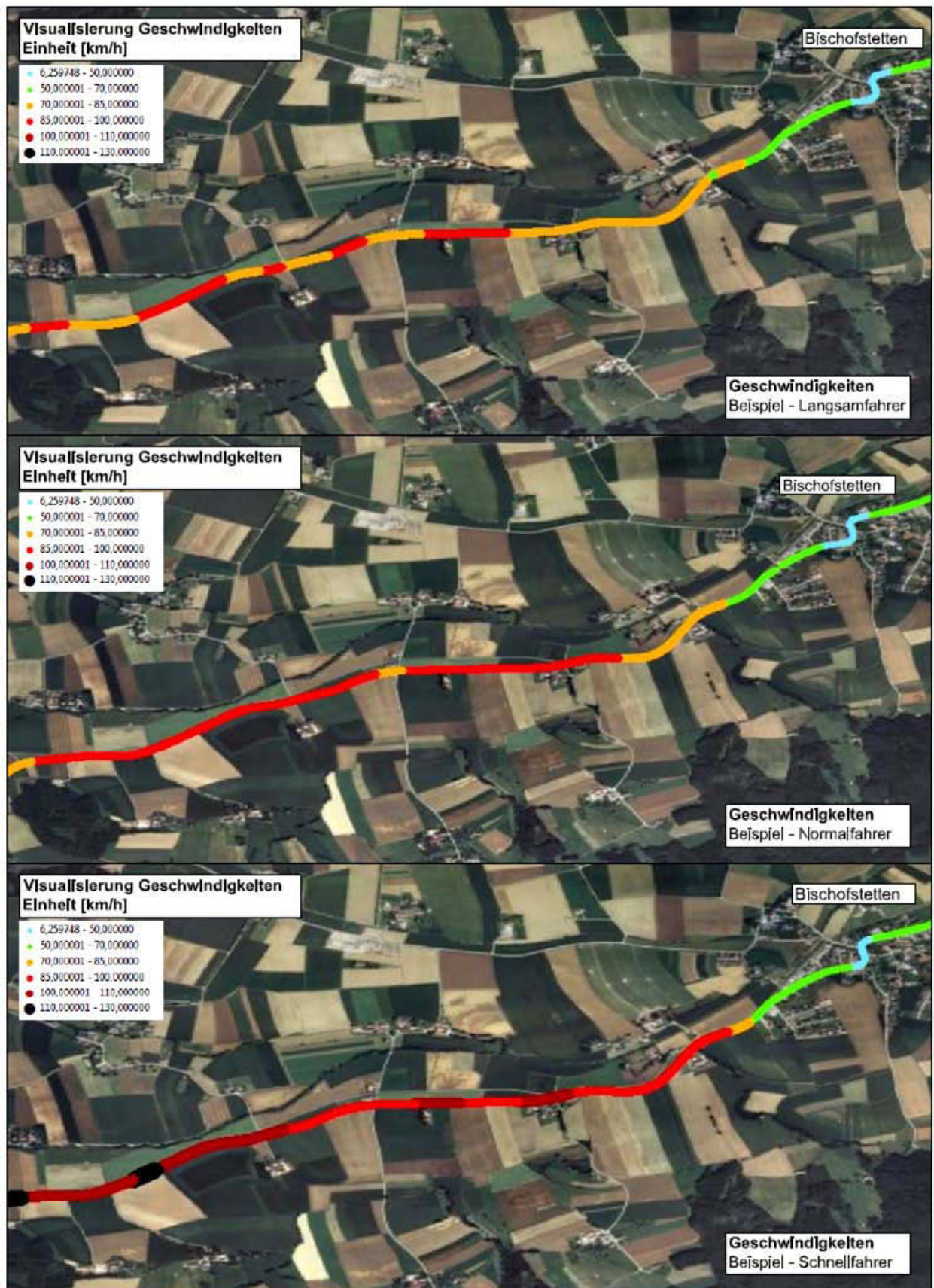


Abbildung 22: Optischer Vergleich anhand der gemessenen Geschwindigkeiten beispielsweise für 3 Probanden

6.2.4 Kurvenweise Ermittlung der mittleren Querbesehleunigungen und Geschwindigkeiten

Um Aussagen über akzeptierte Querbesehleunigungen bzw. Geschwindigkeiten in Einzelkurven treffen zu können, wurde als nächster Schritt kurvenweise eine Berechnung der Mittelwerte durchgeführt.

Die Verwendung der maximalen Besehleunigungswerte für weitere Auswertungen wurde als wenig zielführend erachtet, da durch Straßenunebenheiten und unterschiedliche Fahrlinien es kurzfristig zu erhöhten Querbesehleunigungen kommen kann. Diese nur für einige Zehntelsekunden dauernden Maximalwerte liegen deutlich über den konstanten Werten für den gesamten Kreisbogen und wurden somit nicht zur Bestimmung der akzeptierten Querbesehleunigung herangezogen.

Die Vorgehensweise bei der Ermittlung der mittleren Querbesehleunigungen und Geschwindigkeiten ist beispielhaft in Abbildung 23 dargestellt. Durch die in Kapitel 6.2.3 beschriebene Visualisierung der Messdaten konnten vorab die Bereiche mit etwa gleich bleibenden Werten bestimmt werden. Bei der Bestimmung der mittleren Querbesehleunigungen wurden Bereiche herangezogen, die eine Minstdauer von 1,5 Fahrsekunden (> 15 Messpunkte) aufwiesen. Durch die Funktionen von ArcGIS konnten gleich direkt im Programm die gewählten Messdaten betrachtet und deren Mittelwert und die Standardabweichung kurvenweise berechnet werden.

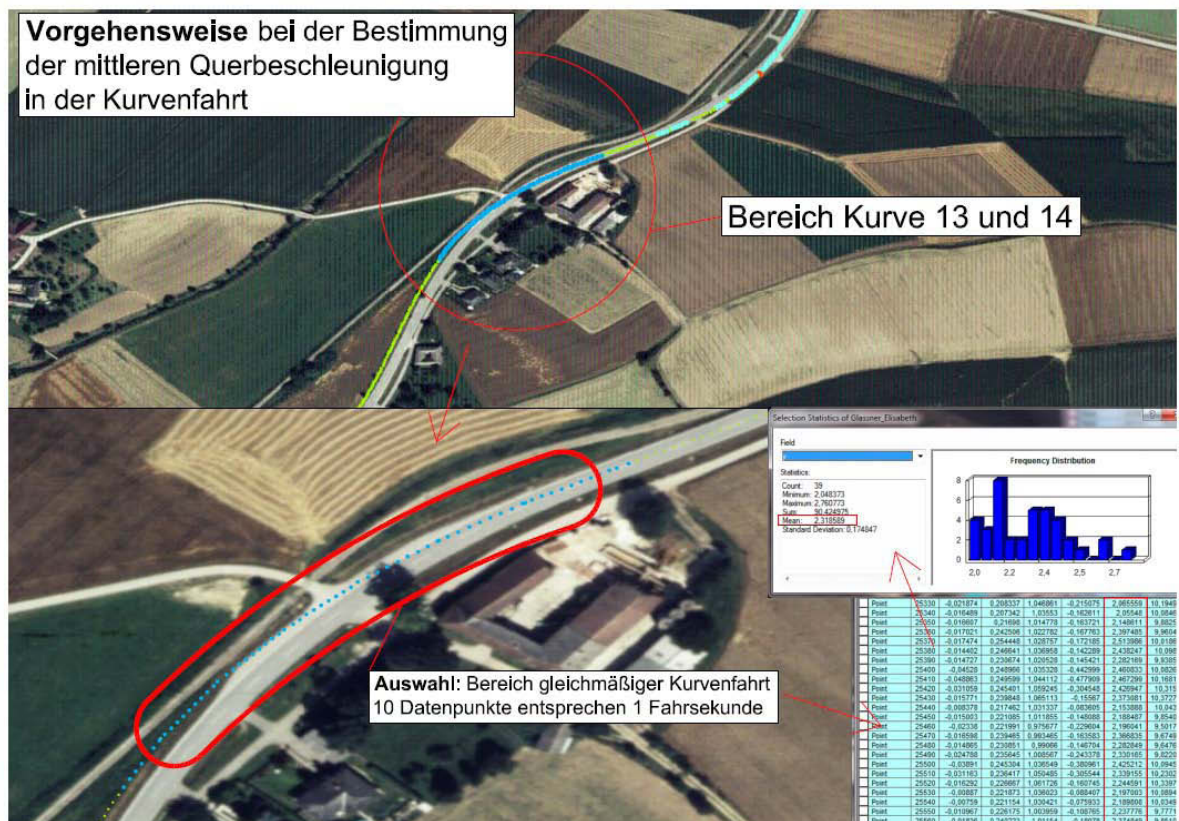


Abbildung 23: Ermittlung der mittleren Querbesehleunigungen und Geschwindigkeiten

6.2.5 Theoretische Berechnung der Kurvenradien

Die Größe und die Länge der Kurvensegmente konnte für den ersten Teil der Teststrecke aus den RoadSTAR Daten ermittelt werden. Diese Daten stimmten allerdings für die Hin- und Retourfahrt nicht exakt überein. So traten für die ermittelten Radien Unterschiede von bis zu 40 m für dieselbe Kurve auf. Unterschiede von wenigen Metern wären aufgrund der vorhandenen Fahrbahnbreiten realistisch. Mögliche Ansätze zur Erklärung dieser teilweise großen Unterschiede der Radien für Hin- und Retourfahrt können von der Ideallinie abweichende Fahrlinien bei den Messfahrten mit dem RoadSTAR oder unterschiedliche Bestimmungen der Segmente mittels Geometry Classifier sein.

Für den zweiten Teil der Teststrecke wurden die Kurvenradien händisch aus vorhandenen Straßenkarten und Luftbildern gemessen. Da diese Methode auch mit Ungenauigkeiten behaftet ist und da, wie beschrieben, für den ersten Teil der Teststrecke teilweise ebenfalls Probleme bei der Bestimmung der exakten Radiengröße auftraten, wurden im Zuge der vorliegenden Arbeit die Kurvenradien im Nachhinein theoretisch berechnet und mit den vorab ermittelten Werten verglichen.

Die in Kapitel 2.1 beschriebene Formel zur Berechnung der Querschleunigung wurde dafür umgeformt und verwendet:

$$a_{\text{quer}} = \frac{v^2}{R} * \cos(\alpha) - g * \sin(\alpha) \Rightarrow R = \frac{v^2 * \cos(\alpha)}{a_{\text{quer}} + g * \sin(\alpha)}$$

Durch Einsetzen der gemessenen Querschleunigungen (a_{quer}), Geschwindigkeiten (v) und vorhandenen Querneigungen (α) konnten für jede Testfahrt eines Probanden die theoretisch gefahrenen Kurvenradien berechnet werden. Diese Berechnung beruht auf der Vereinfachung, dass die Kurven mit konstanter Geschwindigkeit durchfahren wurden. Daher ergaben sich für einzelne Probanden aufgrund unterschiedlicher Fahrlinien („Schneiden“ der Kurven) und verschiedener Fahrstile deutlich größere bzw. kleinere Radien. Durch die Bildung von Mittelwerten aus den Einzelberechnungen konnten allerdings realistische Werte erzielt werden und die Radiengrößen der RoadSTAR Messungen bzw. aus der händischen Bestimmung bestätigt bzw. korrigiert werden.

7 Ergebnisse

7.1 Alters- und geschlechtsspezifische Unterschiede der gemessenen QUERBESCHLEUNIGUNG

7.1.1 Kovarianzanalyse der Querbeschleunigung

Mit dem Softwareprogramm SPSS 15 wurde eine Kovarianzanalyse durchgeführt. Dabei wurde untersucht, ob bei den gemessenen Querbeschleunigungen signifikante alters- und geschlechtsspezifische Unterschiede bestehen. Als abhängige Variable wurde die Querbeschleunigung, als Kovariate die Kurvenradien deklariert.

Bei der Auswertung wurde das Geschlecht Weiblich mit 1 und das Geschlecht Männlich mit 2 bezeichnet. Die Altersgruppen Jung (18 - 25 Jahre), Mittel (26 – 45 Jahre) und Alt (46 – 65 Jahre) erhielten ebenfalls die Nummerierung 1, 2 und 3.

Die Ergebnisse der deskriptiven Statistik zeigen die Mittelwerte und Standardabweichungen der gemessenen Querbeschleunigungen (in m/s^2) aufgeteilt auf die Geschlechter 1 und 2 bzw. auf die drei Altersgruppen. Weiters ist die Anzahl der Messungen N für jede Gruppe angegeben.

Tabelle 4: Deskriptive Statistik - Überblick

Geschlecht	Altersgruppe	Mittelwert	Standardabweichung	Anzahl N
1 (weiblich)	1	2,3420	,69714	220
	2	2,2708	,58397	226
	3	2,1004	,53477	228
	Gesamt	2,2364	,61558	674
2 (männlich)	1	2,5668	,62125	226
	2	2,6738	,69334	221
	3	2,6209	,62522	227
	Gesamt	2,6201	,64757	674
Gesamt	1	2,4559	,66857	446
	2	2,4700	,67071	447
	3	2,3601	,63677	455
	Gesamt	2,4282	,66006	1348

Die gemittelten Querbeschleunigungen bewegen sich für alle Gruppen zwischen 2 und 3 m/s^2 . Die Standardabweichungen weisen untereinander sehr ähnliche Werte auf. Somit kann die Voraussetzung für die Kovarianzanalyse, dass die Varianzgrößen der betrachteten Gruppen gleich sind, als gegeben angesehen werden.

Die Anzahl der Messungen pro Gruppe schwankt geringfügig aufgrund der Bereinigung der Messdaten von beeinflussten Fahrtabschnitten.

Tabelle 5: Ergebnis der Kovarianzanalyse

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	108,114	6	18,019	50,472	,000
Konstanter Term	1380,944	1	1380,944	3868,11	,000
Kurve	50,277	1	50,277	140,830	,000
Geschlecht	50,953	1	50,953	142,722	,000
Altersgruppe	3,497	2	1,749	4,898	,008

Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse der Kovarianzanalyse mittels SPSS 15. Dabei wurden die für die vorliegende Arbeit relevanten Werte eingefärbt.

Das Resultat zeigt signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern Männlich und Weiblich und zwischen den Altersgruppen Jung, Mittel und Alt. Dies ist in der letzten Spalte für Signifikanz ersichtlich. Dabei ergeben Werte unter dem gewählten Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ signifikante Unterschiede zwischen den getesteten Gruppen. Weiters sind in der Tabelle die Quadratsummen, die Freiheitsgrade df, die Mittelwerte der Fehlerquadrate und die Prüfwahl F dargestellt.

Diese erste Auswertung ergibt, dass altersspezifische Unterschiede bestehen, jedoch gibt sie noch keine Auskunft, zwischen welchen Gruppen diese Unterschiede bestehen. Daher wurde im Anschluss ein Post-Hoc-Test (Tukey-HSD) durchgeführt.

Tabelle 6: Ergebnisse des Post-Hoc Tests bezüglich Altersgruppen

(I) Altersgruppe	(J) Altersgruppe	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz	95% Konfidenzintervall	
					Obergrenze	Untergrenze
1	2	-,0141	,04202	,940	-,1127	,0845
	3	,0958	,04184	,057	-,0023	,1940
2	1	,0141	,04202	,940	-,0845	,1127
	3	,1100(*)	,04181	,023	,0119	,2081
3	1	-,0958	,04184	,057	-,1940	,0023
	2	-,1100(*)	,04181	,023	-,2081	-,0119

Altersgruppe	N	Untergruppe	
		2	1
3	455	2,3601	
1	446	2,4559	2,4559
2	447		2,4700

Die Ergebnisse des Post-Hoc Tests (siehe Tabelle 6) zeigen signifikante Unterschiede ($0,023 < 0,05$) zwischen den Altersgruppen Mittel (Nummer 2) und Alt (Nummer 3).

Zwischen den anderen Altersgruppen wurden keine signifikanten Unterschiede gefunden. Die Altersgruppe Mittel weist die höchste mittlere Querschleunigung ($2,47 \text{ m/s}^2$) auf (Tabelle 6). Weiters zeigt die Tabelle die mittlere Differenz zwischen den Altersgruppen, den Standardfehler und die Ober- bzw. Untergrenzen des 95% Konfidenzintervalls.

Zwei weitere Post-Hoc Tests wurden durchgeführt, um die altersspezifischen Unterschiede innerhalb der Geschlechtergruppen zu beurteilen.

Post Hoc Test (altersspez. Unterschiede) für das Geschlecht **Weiblich**

Die Berechnungen ergeben signifikante Unterschiede zwischen den Altersgruppen 1 und 3 bzw. 2 und 3. Dies bedeutet, dass die Altersgruppe Weiblich-Alt sich signifikant von den anderen beiden Gruppen unterscheidet.

Der größte Mittelwert der Querschleunigung wurde von der Gruppe Weiblich-Jung erzielt (2,34 m/s²), gefolgt von der Gruppe Weiblich-Mittel (2,27 m/s²) und Weiblich-Alt (2,10 m/s²).

Die detaillierten Ergebnisse des Tests sind im Anhang beigefügt.

Post Hoc Test (altersspez. Unterschiede) für das Geschlecht **Männlich**

Für das Geschlecht Männlich wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Altersgruppen festgestellt.

Der größte Mittelwert der Querschleunigung wurde von der Gruppe Männlich-Mittel erzielt (2,67 m/s²), gefolgt von der Gruppe Männlich-Alt (2,62 m/s²) und Männlich-Jung (2,56 m/s²).

Die detaillierten Ergebnisse des Tests sind im Anhang beigefügt.

7.1.2 Regressionsanalyse der Querschleunigung

Mittels multipler linearer Regression wird die Größe des Einflusses verschiedener Prädiktoren (Faktoren) auf die Zufallsvariable (Querschleunigung a_{quer}) bestimmt. Die untersuchten Einflussfaktoren sind in der durchgeführten Regressionsanalyse das Geschlecht G, das Alter A, die Motorleistung M und der Kurvenradius R. Diese vier Faktoren wurden auf deren Signifikanz geprüft und deren Regressionskoeffizienten bestimmt.

Tabelle 7 zeigt die Ergebnisse der linearen Regressionsanalyse. Die ersten beiden Spalten beinhalten die Regressionskoeffizienten und deren Standardfehler. Die dritte Spalte zeigt die Beta-Werte, die standardisierten Koeffizienten. Sie beschreiben innerhalb eines Modells, wie hoch der Beitrag eines jeden Prädiktors zur Erklärung der Varianz ist. Größere Werte deuten somit auf einen stärkeren Einfluss auf die Zufallsvariable hin. Die letzten beiden Spalten zeigen Ergebnisse aus dem durchgeführten T-Test (Signifikanztest) mit der Prüfwahl T und den Resultaten für die Signifikanz eines jeden Prädiktors.

Tabelle 7: Ergebnisse aus der Regressionsanalyse

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
		B	Standardfehler	Beta		
1	(Konstante)	2,588	,081		32,058	,000
	Altersgruppe	-,005	,001	-,111	-4,936	,000
	Geschlecht	,319	,032	,242	9,968	,000
	PS	,004	,001	,150	6,055	,000
	Radius	-,004	,000	-,490	-22,271	,000

Überträgt man die erhaltenen Regressionskoeffizienten und die Konstante in das lineare Modell, so ergibt sich folgende Gleichung:

$$a_{\text{quer}} = 2,588 - 0,005 * A + 0,319 * G - 0,004 * R + 0,004 * M$$

$[a_{\text{quer}}] = \text{m/s}^2$

Dabei ist das Alter in Jahre, das Geschlecht Weiblich mit 1 und Männlich mit 2, die Motorleistung in PS und der Radius in Meter einzugeben.

Bei einem Vergleich der Regressionskoeffizienten bzw. der Beta-Werte ist ersichtlich, dass der Kurvenradius (je größer der Radius, desto kleiner die Querbewegung) und das Geschlecht (bei Männern höhere Querbewegung) den größten Beitrag zur Erklärung der Varianz innerhalb des Modells haben. Das Alter und die Motorleistung der Probanden spielen eine geringere Rolle. Dabei steigt die Querbewegung mit steigender Motorleistung und sinkt mit steigendem Alter.

In einem weiteren Schritt werden die Prädiktoren (Faktoren) eines jeden Probanden (Alter, Geschlecht, Motorleistung) für jeden Radius in das Regressionsmodell eingesetzt und die geschätzten Querbewegungen des Modells berechnet. Die Querbewegungen aus dem Regressionsmodell sind in Abbildung 24 mit jenen aus den Testfahrten gegenübergestellt. Daraus ist ersichtlich, dass durch das lineare Modell keinesfalls die gesamte Varianz der Messwerte abgedeckt werden kann. Dies zeigen auch die rechnerischen Ergebnisse aus SPSS. Der Wert für die erklärable Varianz (R-Quadrat) liegt bei 0,349. Das Regressionsmodell kann somit rd. 35% der Varianz der Messwerte erklären. Die genauen Ergebnisse der Regressionsanalyse mittels SPSS sind im Anhang angeführt.

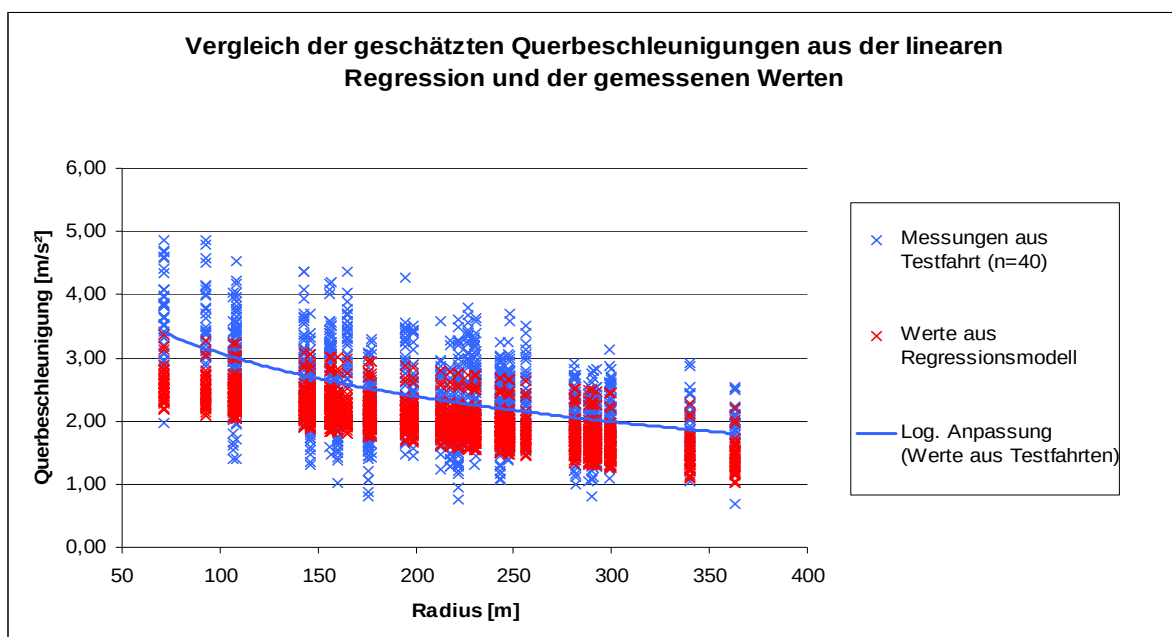


Abbildung 24: Vergleich der Querbewegungen aus Regressionsmodell und den Testfahrten

Abbildung 25 zeigt die Differenz aus den gemessenen Querbeschleunigungen und den geschätzten Querbeschleunigungen aus dem Regressionsmodell. Die Graphik zeigt neben den einzelnen Differenzwerten auch den Verlauf der Abweichungen. Daraus ist ersichtlich, dass in einigen Fällen sehr große Abweichungen der Modellwerte von den tatsächlich gemessenen Werten auftreten. Insbesondere treten bei den kleinen Radien sehr große Unterschiede auf.

Der Verlauf zeigt, dass bei den mittleren Radiengrößen die größte Übereinstimmung des Modells mit den Messwerten auftritt. Für kleine Radien werden deutlich zu geringe Querbeschleunigungen geschätzt (rund $0,75 \text{ m/s}^3$ darunter; siehe auch Abbildung 24).

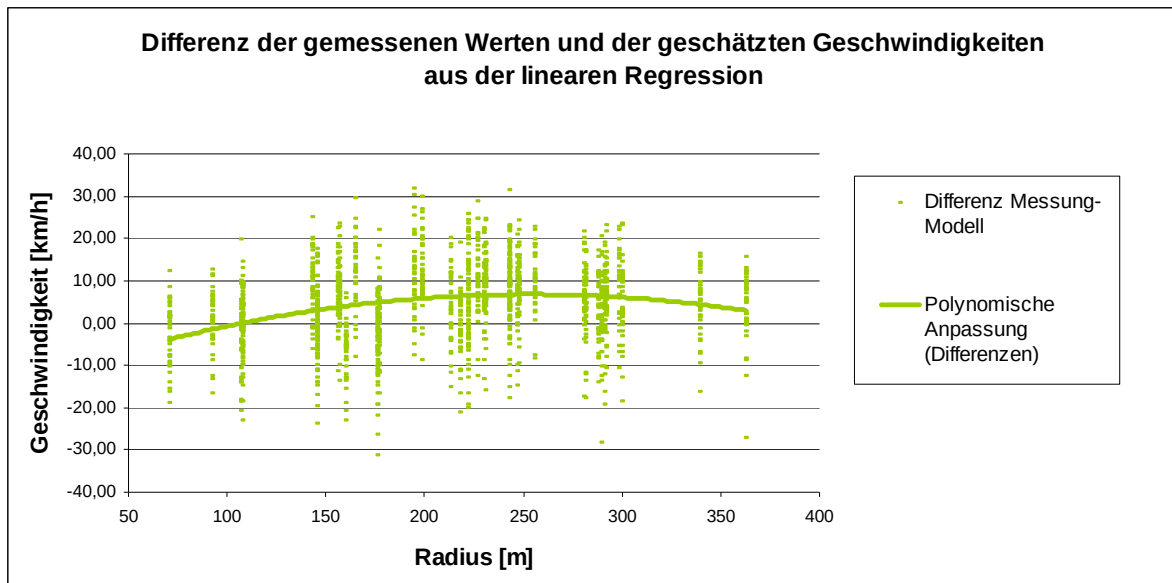


Abbildung 25: Differenzen der Querbeschleunigungen aus Testfahrten und Regressionsmodell

Die durchgeführte Regressionsanalyse setzt einen linearen Zusammenhang der Prädiktoren mit der Zufallsvariable (Querbeschleunigung) voraus. Diese lineare Abhängigkeit ist allerdings nicht für alle Einflussfaktoren zutreffend und schwächt somit die Aussagekraft bzw. Genauigkeit des Modells. Die Ergebnisse der Kovarianzanalyse zeigen, dass die mittlere Altersgruppe die höchsten Querbeschleunigungen akzeptierten. Demnach kann ein linearer Verlauf bei der Bestimmung des Einflusses des Alters auf die Querbeschleunigung, einen nur sehr geringen Beitrag zur Erklärung der Varianz beitragen. Die Ergebnisse der Kovarianzanalyse deuten auf einen umgekehrt U-förmigen Verlauf der Werte in Abhängigkeit vom Alter hin.

7.1.3 Korrelation der Querbeschleunigung mit dem Radius

In diesem Kapitel wird der Zusammenhang zwischen den gemessenen Querbeschleunigungen und den Radien dargestellt. Daraus ist ersichtlich, welche akzeptierten Beschleunigungswerte für die unterschiedlichen Radiengrößen auftreten. Die vorgestellten Studien der Literaturrecherche zeigten die größten Messwerte für kleine Radien (siehe Kapitel 2.2), wobei die Maximalwerte zwischen $7,0$ und $8,0 \text{ m/s}^2$ betrugen.

In der vorliegenden Arbeit wurden 40 geeignete Kurvenradien gewählt und die dazugehörige mittlere gemessene Querbeschleunigung pro Proband bestimmt. Dies ergibt für die Auswertung eine Gesamtzahl von ca. 1600 Messpunkten.

In Abbildung 26 sind die Messwerte der Querbeschleunigung jeweils für die einzelnen Kurvenradien aufgetragen. Dabei ist auf der Abszisse der Radius in Meter und auf der Ordinate die Querbeschleunigung in m/s^2 ersichtlich.

Wie bereits von Felipe & Navin [6] beschrieben, sind auch bei der vorliegenden Messung die höchsten Querbeschleunigungen bei den kleinen Radien aufgetreten. Die in der Literatur angeführten Maximalwerte wurden unter der Vorgabe der „normalen Fahrt“ allerdings nicht erzielt. Die höchsten Seitenbeschleunigungen von rund 5 m/s^2 wurden bei den Radien $< 100 \text{ m}$ gemessen.

Neben der Darstellung der Einzelmesswerte ist in Abbildung 26 auch der Verlauf mittels Regressionskurve dargestellt. Dabei erzielte eine logarithmische Anpassung das höchste Bestimmtheitsmaß ($R^2 = 0,303$).

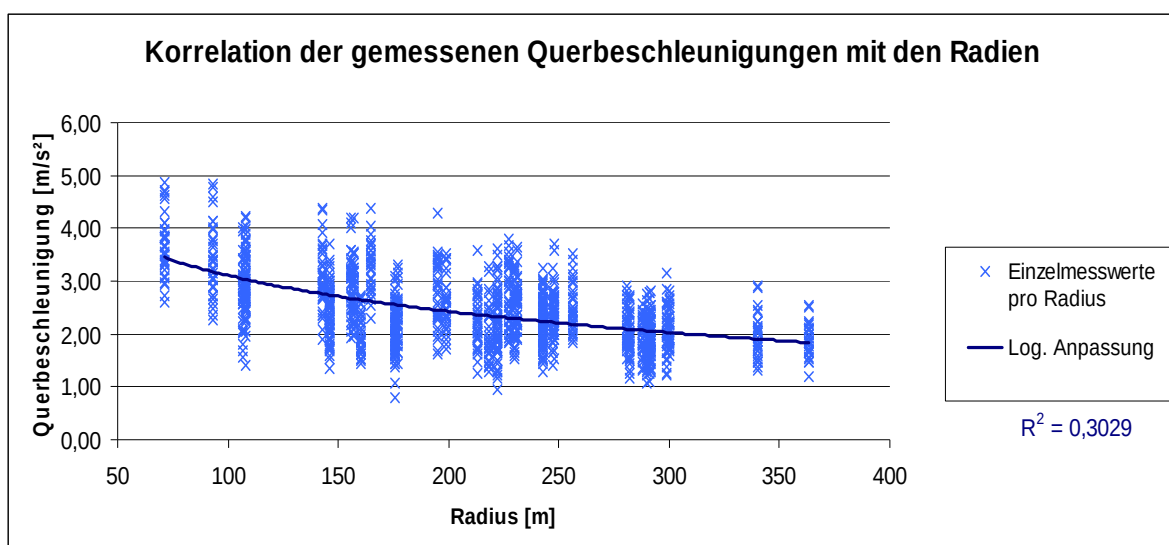


Abbildung 26: Messwerte der Querbeschleunigung pro Radius

Unterscheidung weiblicher und männlicher Probanden

Die in Kapitel 7.1.1 bereits rechnerisch ermittelten Unterschiede der akzeptierten Querbeschleunigung von Frauen und Männern wird in Abbildung 27 graphisch dargestellt. Die Darstellung zeigt wiederum die Einzelmesswerte der männlichen und weiblichen Probanden pro Kurvenradius. Zusätzlich wurden die Mittelwerte der Einzelmessungen und logarithmische Regressionskurven für jedes Geschlecht dargestellt.

Dabei ist ersichtlich, dass die Mittelwerte der Querbeschleunigung der männlichen Probanden bei jedem Radius höher liegen als jene der weiblichen Probanden. Durchschnittlich ergibt sich ein Unterschied von $0,4 \text{ m/s}^2$. Die geschlechter-spezifischen Regressionskurven verlaufen annähernd parallel. Dies deutet darauf hin, dass der Unterschied zwischen der weiblichen und männlichen Gruppe für alle Radiengrößen konstant ist.

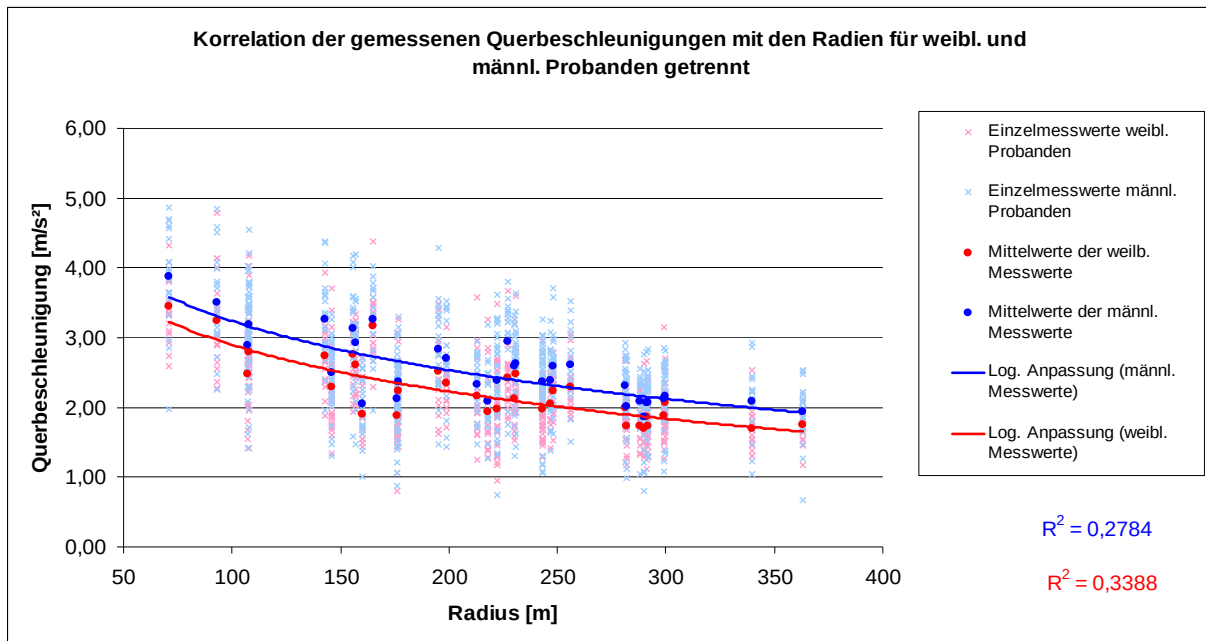


Abbildung 27: Geschlechtsspezifische Unterschiede der gemessenen Querbeschleunigung

Streuung der Messwerte

Weiters wurden die Messwerte auf deren Streuung untersucht und für weibliche und männliche Probanden dargestellt. Grundsätzlich ergeben sich für jeden Radius große Streuungen der gemessenen Querbeschleunigungen. Diese sind zum einen durch den Zusammenhang mit den Unterschieden der gefahrenen Geschwindigkeit und zum anderen mit dem Einfluss von verschiedenen Lenkmanövern erklärbar. Selbst bei gleicher Fahrtgeschwindigkeit ergibt sich für dieselbe Kurve eine erhebliche Streuung der gemessenen Querbeschleunigung. Dies ist dadurch bedingt, dass der Zeitpunkt des Einlenkens und die dabei erreichte Geschwindigkeit unterschiedlich sind [16].

Für den kleinsten Radius ($R = 70 \text{ m}$) wurde ein Maximalwert von $4,87 \text{ m/s}^2$ und ein Minimalwert von $1,97 \text{ m/s}^2$ gemessen. Das ergibt eine Streubreite von knapp 3 m/s^2 . Diese Maximalwerte sind allerdings situationsbedingte Einzelwerte (rasches Einlenken), die sich deutlich von den restlichen Werten abheben.

Wie schon in den vorangegangenen Graphiken sind in Abbildung 28 die Einzelmesswerte und Mittelwerte mit der Unterscheidung nach dem Geschlecht dargestellt. Zusätzlich wurde das 68,3% Intervall ($\mu \pm \sigma$) dargestellt. Dieses Intervall umfasst bei einer normalverteilten Zufallsvariable rund 70% der Messwerte und dient der Veranschaulichung der Streuung.

Bei der Auswertung bezüglich der Streuung können zwei Erkenntnisse gewonnen werden. Generell ist die Streuung der gemessenen Querbeschleunigung bei kleineren Radien breiter als bei großen Radien. Das Intervall ($\mu \pm \sigma$) weist bei Radien $< 100 \text{ m}$ eine mittlere Breite von rund $1,4 \text{ m/s}^2$ auf und sinkt kontinuierlich bis zu einer Intervallbreite von rund $0,85 \text{ m/s}^2$ bei Radien $> 300 \text{ m}$.

Weiters zeigt die Abbildung 28, dass die Messungen der männlichen Probanden eine größere Streuung als die der weiblichen aufweisen. Das Intervall ($\mu \pm \sigma$) der Männer ist im Mittel um $0,2 \text{ m/s}^2$ breiter als jenes der weiblichen Probanden.

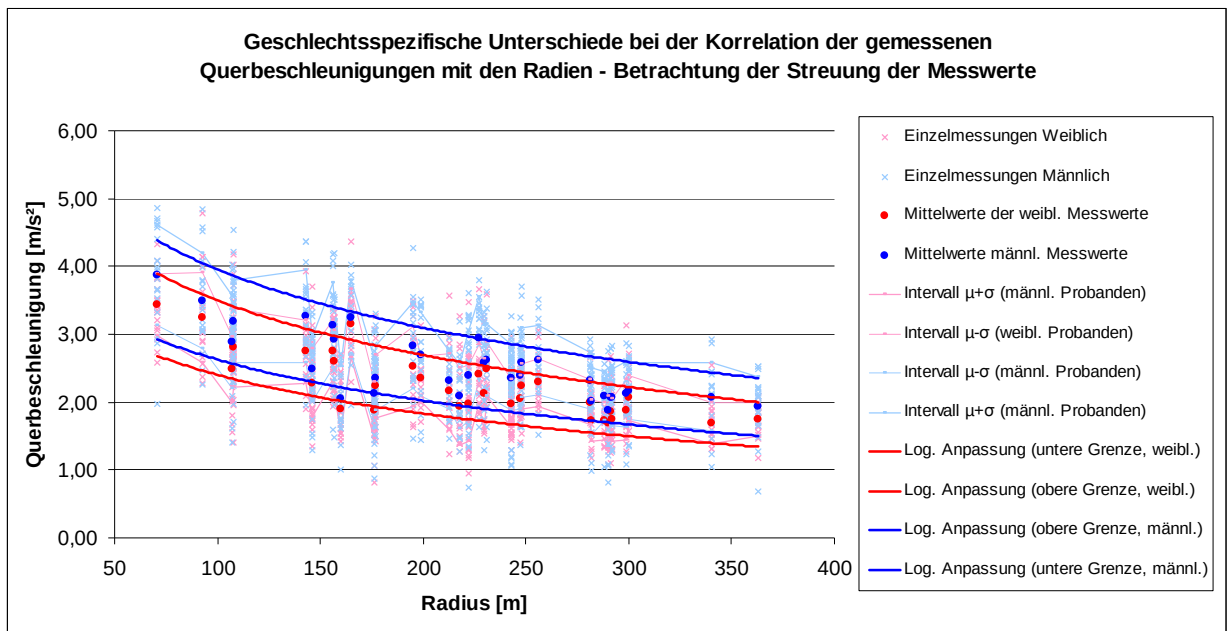


Abbildung 28: Streuung der Messwerte unterschieden nach dem Geschlecht

Altersspezifische Unterschiede

Neben den geschlechtsspezifischen Unterschieden der akzeptierten Querbeschleunigung sollen auch die altersspezifischen Unterschiede im Fahrverhalten dargestellt werden.

Dafür wurden die Messwerte nach den Altersgruppen Jung, Mittel und Alt sortiert und in Abbildung 29 in unterschiedlichen Farben dargestellt. Jede Altersgruppe beinhaltet 12 Messwerte pro Radius. Für manche Radien sind etwas weniger Datenpunkte vorhanden, da Messungen von beeinflussten Fahrtabschnitten nicht für die Auswertung herangezogen worden sind. Zur Veranschaulichung der altersspezifischen Unterschiede wurden in der Graphik logarithmische Ausgleichskurven angepasst. Anhand dieser Kurven ist ersichtlich, dass die mittleren Querbeschleunigungen der Altersgruppe Mittel etwas über jenen der Gruppe Jung sind. Ein größerer Unterschied besteht zu der Altersgruppe Alt. Diese hebt sich nach unten hin deutlich von den beiden anderen Ausgleichskurven ab.

Die graphische Darstellung bestätigt die Berechnungen der Kovarianzanalyse. Dabei wurden signifikante Unterschiede zwischen der mittleren und der alten Altersgruppe ermittelt. Zwischen den Gruppen Jung und Alt wurde ein knapp nicht signifikanter Unterschied berechnet.

Dies entspricht auch dem Ergebnis der graphischen Darstellung. Der Unterschied ist zwischen den Gruppen 2 (mittel) und 3 (alt) am größten. Der Abstand der Ausgleichskurven der Gruppen 1 (jung) und 3 (alt) fällt etwas geringer aus.

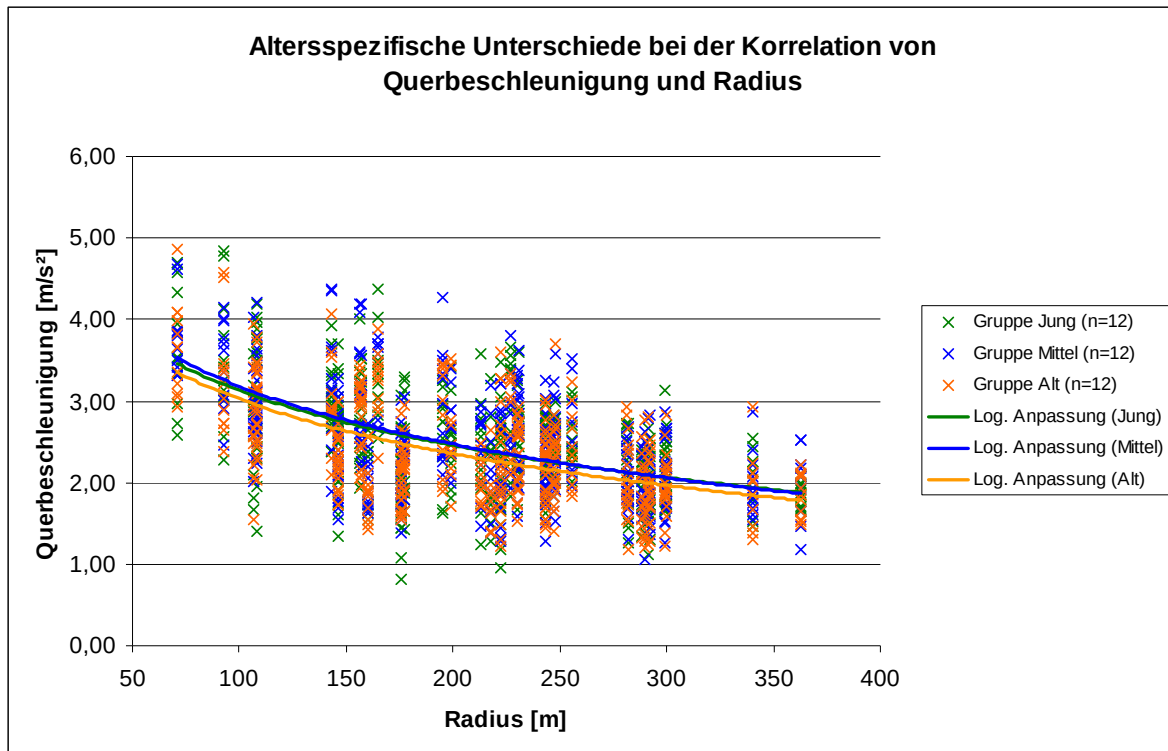


Abbildung 29: Altersspezifische Unterschiede der akzeptierten Querbeschleunigung

7.1.4 Betrachtung unterschiedlicher Fahrstile

In diesem Kapitel wird eine Einteilung der gemessenen Querbeschleunigungen anhand zweier Fahrstile gemacht. Dadurch können Aussagen getroffen werden, welche Querbeschleunigungen von Personen mit sehr schnellem bzw. sehr langsamem Fahrstil akzeptiert und noch als angenehm empfunden werden.

Dafür wurden keine alters- oder geschlechtsspezifischen Unterteilungen vorgenommen. Die Einteilung bzw. Zuteilung zu den einzelnen Fahrstilen (Schnell und Langsam) erfolgte nur anhand der mittleren gemessenen Querbeschleunigungen. Es wurden jeweils 15% der Probandenzahl (dies entspricht je 6 Probanden) dem schnellen Fahrstil bzw. dem langsamen Fahrstil zugeordnet.

In Abbildung 30 sind die Einzelmesswerte jedes Fahrstils in verschiedenen Farben dargestellt. Dazu wurde für jeden Fahrstil eine logarithmische Anpassungskurve eingefügt. Diese zeigen generell einen ähnlichen Verlauf, wobei bei Kurven mit kleinem Radius der Unterschied zwischen den Fahrstilen weiters anwächst. Die Fahrstile unterscheiden sich im Mittel um rund $1,1 \text{ m/s}^2$, wobei bei kleinen Radien die Unterschiede der gemessenen Querbeschleunigungen auf rd. $1,5 \text{ m/s}^2$ anwachsen.

Zusammensetzung der Fahrstil-Gruppen

Neben den unterschiedlichen Fahrstilen wird in Abbildung 30 auch zwischen weiblichen und männlichen Probanden pro Gruppe unterschieden. Eine Übersicht der genauen Zusammensetzung der Testpersonen für jeden Fahrstil ist in Tabelle 8

angeführt. Aus der graphischen und tabellarischen Darstellung ist ersichtlich, dass der schnelle Fahrstil hauptsächlich männlichen Probanden (5 von 6), der langsame Fahrstil vorwiegend weiblichen Probanden (4 von 6) zugeordnet werden kann. Die männlichen Probanden der mittleren Altersgruppe bilden den Großteil des schnellen Fahrstils. Die junge Altersgruppe der Männer ist bei dieser Einteilung (15% der Schnellsten und Langsamsten) nicht vertreten und befindet sich somit im Mittelfeld. Zwei ältere, männliche Probanden sind dem langsamen Fahrstil zugeordnet. Die weiblichen Probanden verteilen sich gleichmäßig innerhalb des langsamen Fahrstils. Der schnelle Fahrstil wird lediglich von einer Probandin der Altersklasse Jung besetzt.

Tabelle 8: Zusammensetzung der Gruppen des Fahrstils

Fahrstil		
Männer	Schnell	Langsam
Jung	0	0
Mittel	4	0
Alt	1	2
Frauen	Schnell	Langsam
Jung	1	2
Mittel	0	1
Alt	0	1
Σ	6	6

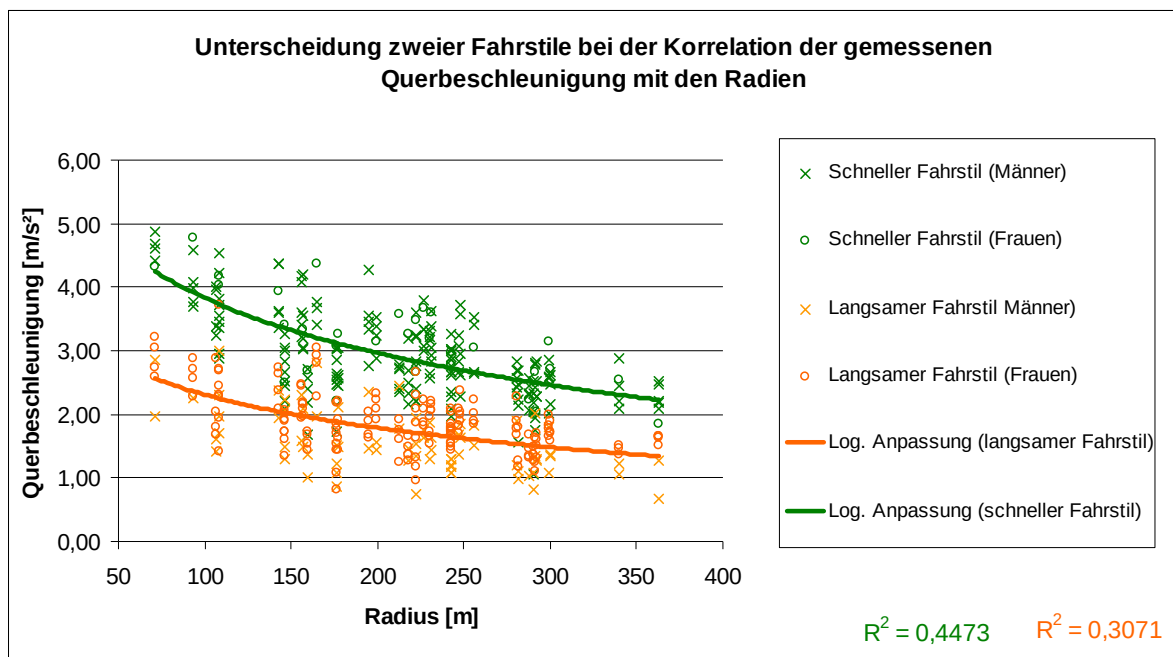


Abbildung 30: Unterscheidung der Fahrstile Schnell u. Langsam anhand der Querbeschleunigung

Berechnungsmodelle – Fahrstil

Die Einteilung und anschließende Auswertung der Fahrstile Schnell und Langsam ergeben folgende zwei Berechnungsmodelle für die mittlere akzeptierte Querbeschleunigung mit dem jeweiligen höchsten Bestimmtheitsmaß. Dabei ist die gewählte Querbeschleunigung allein vom Kurvenradius R abhängig.

$$\begin{array}{lll} \text{Schneller Fahrstil :} & a_{\text{quer}} = -1,243 \ln(R) + 9,5515 & R^2 = 0,447 \\ \text{Langsamer Fahrstil:} & a_{\text{quer}} = -0,7522 \ln(R) + 5,7741 & R^2 = 0,307 \end{array}$$

Das Bestimmtheitsmaß ist beim schnellen Fahrstil deutlich höher als beim langsamen Fahrstil. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass die Probanden des schnellen Stils stärker von der Radiengröße beeinflusst werden und somit diese Personen untereinander eine geringere Streuung aufwiesen. Die Probanden des langsamen Fahrstils wählen frei von äußeren Zwängen, wie der Streckengeometrie, ihre Querbeschleunigung und weisen deshalb eine höhere Streuung auf.

7.2 Alters- und geschlechtsspezifische Unterschiede der gemessenen GESCHWINDIGKEIT

7.2.1 Kovarianzanalyse der Geschwindigkeit

Wie bereits in Kapitel 7.1.1 beschrieben, wurden ebenfalls alters- und geschlechtsspezifische Unterschiede für die gemessenen Geschwindigkeiten mittels SPSS 15 berechnet. Dabei wurden dieselben Eingangsgrößen und Definitionen verwendet. Als abhängige Variable wurde die Geschwindigkeit anstelle der Querbeschleunigung gewählt. Anfänglich erfolgte wiederum eine Kovarianzanalyse (Bezeichnung: Univariat in SPSS), welche die generelle Aussagen traf, ob es signifikante Unterschiede zwischen den getesteten Gruppen gibt.

Tabelle 9 zeigt die Zusammenfassung der deskriptiven Auswertung der Kovarianzanalyse. Dabei erfolgte die Berechnung der Mittelwerte und Standardabweichungen für jede Gruppe, eingeteilt nach Geschlecht und Alter.

Die mittleren Geschwindigkeiten bewegen sich in einem Bereich von 77 bis 87 km/h. Wie auch bei der Auswertung für die Querbeschleunigung (vgl. Kapitel 7.1.1) sind die Standardabweichungen (Varianzen) der verglichenen Gruppen homogen und erfüllen somit die Voraussetzungen einer Kovarianzanalyse.

Tabelle 9: Deskriptive Auswertung der Kovarianzanalyse hinsichtlich der Geschwindigkeit

Geschlecht	Altersgruppe	Mittelwert (V)	Standardabweichung	N
1 (weiblich)	1	79,9048	12,90030	220
	2	78,8388	11,42142	226
	3	77,3141	11,84953	228
	Gesamt	78,6710	12,09367	674
2 (männlich)	1	83,8651	12,11834	226
	2	88,6712	12,80803	221
	3	86,2683	12,64027	227
	Gesamt	86,2504	12,65750	674
Gesamt	1	81,9116	12,65232	446
	2	83,7000	13,07474	447
	3	81,7813	13,03190	455
	Gesamt	82,4607	12,94192	1348

Tabelle 10: Ergebnisse Kovarianzanalyse hinsichtlich Geschwindigkeit

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	121019,169	6	20169,861	258,597	,000
Konstanter Term	3049013,460	1	3049013,460	39091,333	,000
Kurve	98317,364	1	98317,364	1260,525	,000
Geschlecht	17999,381	1	17999,381	230,770	,000
Altersgruppe	832,598	2	416,299	5,337	,005

Tabelle 10 zeigt die Ergebnisse der Kovarianzanalyse mittels SPSS 15. Dabei wurden die für die vorliegende Arbeit relevanten Werte eingefärbt.

Das Resultat besagt signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern Männlich und Weiblich und zwischen den Altersgruppen Jung, Mittel und Alt. Dies ist in der letzten Spalte für Signifikanz ersichtlich. Dabei ergeben Werte, die niedriger als das gewählte Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ sind, signifikante Unterschiede zwischen den getesteten Gruppen. Weiters sind in der Tabelle die Quadratsummen, die Freiheitsgrade df, die Mittelwerte der Fehlerquadrate und die Prüfzahl F dargestellt.

Diese erste Auswertung besagt, dass altersspezifische Unterschiede bestehen, jedoch gibt sie noch keine Auskunft, zwischen welchen Gruppen diese Unterschiede bestehen. Daher wurde im Anschluss ein Post-Hoc-Test (Tukey-HSD) durchgeführt.

Die Ergebnisse des Post-Hoc Tests besagen, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Altersgruppen gibt, solange keine Aufteilung zwischen Männern und Frauen besteht. Diese Änderung des Ergebnisses hinsichtlich der Signifikanz beruht auf der Tatsache, dass bei Post-Hoc Tests keine Kovariate definiert werden kann und somit die Berechnungen weniger genau die auftretenden Unterschiede identifizieren können.

Eine altersspezifische Untersuchung nach getrennten Geschlechtern ergab allerdings teilweise signifikante Unterschiede:

Post Hoc Test (altersspezifische Unterschiede) für das Geschlecht **Weiblich**

Die Berechnungen ergeben keine signifikanten Unterschiede zwischen den Altersgruppen bei Frauen.

Der größte Mittelwert der Geschwindigkeit wurde von der Gruppe Weiblich-Jung erzielt (79,90 km/h) gefolgt von der Gruppe Weiblich-Mittel (78,83 km/h) und Weiblich-Alt (77,31 km/h).

Die detaillierten Ergebnisse des Tests sind im Anhang beigefügt.

Post Hoc Test (altersspezifische Unterschiede) für das Geschlecht **Männlich**

Für das Geschlecht Männlich wurden signifikante Unterschiede zwischen den Altersgruppen 1 und 2 festgestellt.

Der größte Mittelwert der Geschwindigkeit wurde von der Gruppe Männlich-Mittel erzielt (88,67 km/h), gefolgt von der Gruppe Männlich-Alt (86,26 m/s²) und Männlich-Jung (83,86 m/s²).

Die detaillierten Ergebnisse des Tests sind im Anhang beigefügt.

7.2.2 Regressionsanalyse der Geschwindigkeit

Wie schon in Kapitel 7.1.2 beschrieben wurde mittels multipler linearer Regression die Größe des Einflusses verschiedener Prädiktoren (Faktoren) auf die Zufallsvariable, in diesem Fall die Geschwindigkeit, bestimmt. Die untersuchten Einflussfaktoren sind wiederum das Geschlecht G, das Alter A, die Motorleistung M und der Kurvenradius R. Diese vier Faktoren wurden auf deren Signifikanz geprüft und deren Regressionskoeffizienten bestimmt.

Tabelle 11 zeigt die Ergebnisse der linearen Regressionsanalyse bezüglich der Geschwindigkeit. Die ersten beiden Spalten beinhalten wiederum die Regressionskoeffizienten und deren Standardfehler. Die dritte Spalte zeigt die Beta-Werte, die standardisierten Koeffizienten. Die letzten beiden Spalten zeigen Ergebnisse aus dem durchgeführten T-Test (Signifikanztest) mit der Prüfwahl T und den Resultaten für die Signifikanz eines jeden Prädiktors.

Tabelle 11: Ergebnisse aus der Regressionsanalyse für die Geschwindigkeit

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
		B	Standardfehler	Beta		
1	(Konstante)	44,751	1,298		34,473	,000
	Geschlecht	6,380	,515	,247	12,384	,000
	PS	,058	,011	,104	5,140	,000
	Altersgruppe	-,033	,018	-,035	-1,897	,058
	Radius	,105	,003	,684	37,879	,000

Überträgt man die erhaltenen Regressionskoeffizienten und die Konstante in das lineare Modell, so ergibt sich folgende Gleichung:

$$V = 44,751 - 0,033 \cdot A + 6,380 \cdot G + 0,105 \cdot R + 0,058 \cdot M$$

V in [km/h]

Dabei ist das Alter in Jahren, das Geschlecht Weiblich mit 1 und Männlich mit 2, die Motorleistung in PS und der Radius in Meter einzugeben.

Bei einem Vergleich der Regressionskoeffizienten bzw. der Beta-Werte ist wie auch schon bei der Analyse für die Querschleunigung ersichtlich, dass der Kurvenradius (steigende Geschwindigkeit bei größeren Radien) und das Geschlecht (Männer weisen größere Geschwindigkeiten auf) den größten Beitrag zur Erklärung der Varianz innerhalb des Modells haben. Das Alter und die Motorleistung der Probanden spielen eine geringere Rolle. Dabei steigt die Geschwindigkeit mit zunehmender Motorleistung und fällt mit wachsendem Alter.

In einem weiteren Schritt werden die Prädiktoren (Faktoren) eines jeden Probanden (Alter, Geschlecht, Motorleistung) für jeden Radius in das Regressionsmodell eingesetzt und die geschätzten Geschwindigkeiten des Modells berechnet. Die Geschwindigkeiten aus dem Regressionsmodell sind in Abbildung 31 mit jenen aus den Testfahrten gegenübergestellt. Der Wert für die erklärable Varianz (R-Quadrat) liegt bei 0,562. Das Regressionsmodell kann somit rd. 56% der Varianz der Messwerte erklären. Die genauen Ergebnisse der Regressionsanalyse mittels SPSS sind im Anhang angeführt.

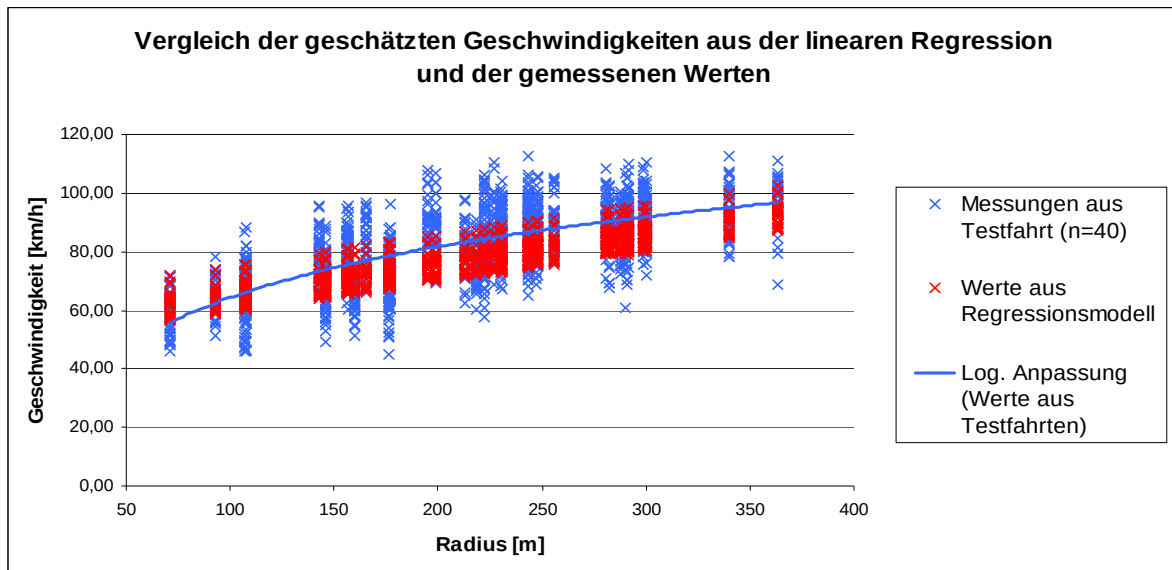


Abbildung 31: Vergleich der Geschwindigkeiten aus Regressionsmodell und den Testfahrten

Abbildung 32 zeigt die Differenz aus den gemessenen Geschwindigkeiten und den geschätzten Werten aus dem Regressionsmodell. Die Graphik veranschaulicht neben den einzelnen Differenzwerten auch den Verlauf der Abweichungen. Daraus ist ersichtlich, dass in einigen Fällen Abweichungen der Modellwerte von den tatsächlich gemessenen Werten auftreten. Insbesondere treten bei den mittleren Radien Unterschiede im Mittel bis rd. 8 km/h auf. Die mittleren Differenzen zeigen einen umgekehrt U-förmigen Verlauf.

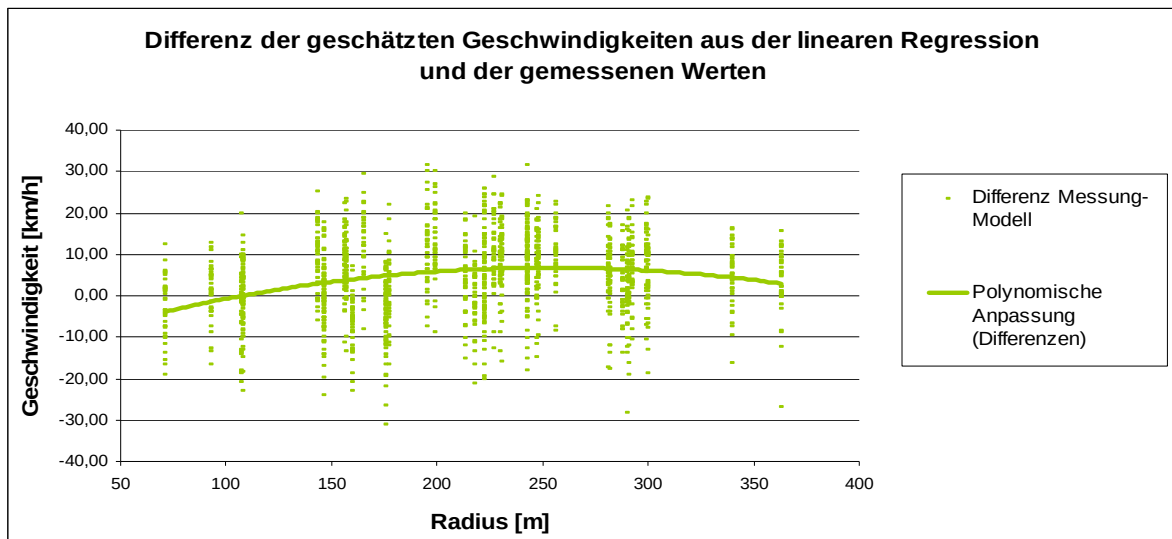


Abbildung 32: Differenzen der Geschwindigkeiten aus Regressionsmodell und Testfahrten

Wie schon in Kapitel 7.2.2 beschrieben, wäre auch bei der Regressionsanalyse für die Geschwindigkeit ein verkehrt U-förmiger Verlauf besser als der lineare Zusammenhang geeignet. Die Ergebnisse der Kovarianzanalyse für die gemessenen Geschwindigkeiten zeigen, dass die mittlere Altersgruppe die höchsten Geschwindigkeiten erzielten und somit die lineare Abhängigkeit vom Alter im Modell nur wenig zur Varianzerklärung beiträgt.

7.2.3 Korrelation der Geschwindigkeit mit dem Radius

In diesem Kapitel wird der Zusammenhang zwischen den gemessenen Geschwindigkeiten und den Radien erörtert. Es wird gezeigt, mit welchen Geschwindigkeiten die unterschiedlichen Radiengrößen durchfahren werden. Bei den Darstellungen wurden dieselben Diagrammtypen wie bei der Auswertung für die Querbeschleunigung (vgl. Kapitel 7.1.3) verwendet.

In Abbildung 33 sind die Messwerte der Geschwindigkeit jeweils für die einzelnen Kurvenradien aufgetragen. Dabei ist auf der Abszisse der Radius in Metern und auf der Ordinate die Geschwindigkeit in km/h ersichtlich.

Neben der Darstellung der Einzelmesswerte ist in der Abbildung auch der Verlauf mittels Regressionskurve dargestellt. Dabei erzielte eine logarithmische Anpassung das höchste Bestimmtheitsmaß ($R^2 = 0,503$).

Die Regressionskurve beginnt für den Radius von $R = 70$ m bei rund 60 km/h, steigt anfänglich rasch an und nähert sich ab einem Radius von $R = 350$ m der 100 km/h Grenze an.

Eine Betrachtung von Radien > 400 m wurde aufgrund der vorherrschenden Geschwindigkeitsbeschränkung von 100 km/h als nicht aussagekräftig erachtet.

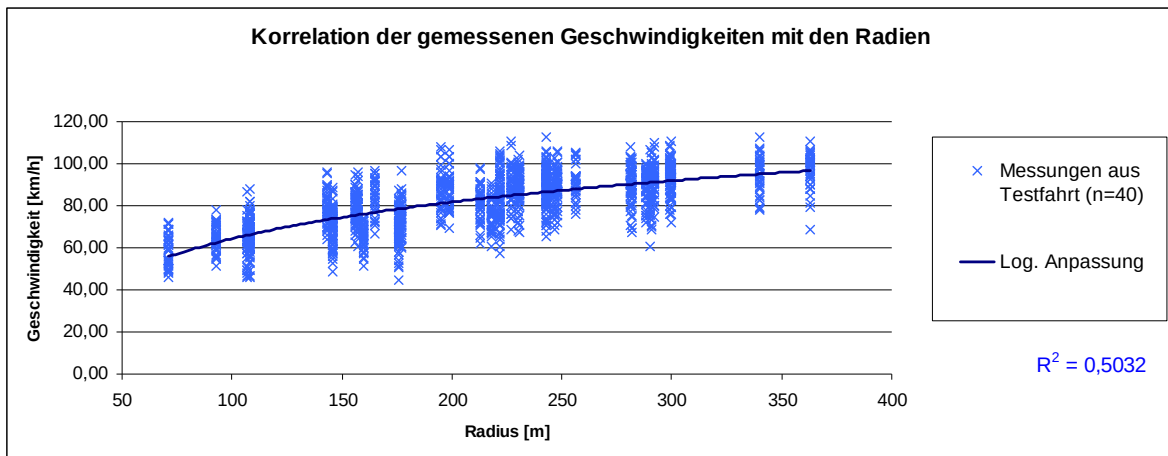


Abbildung 33: Messwerte der Geschwindigkeit pro Radius

Unterscheidung weiblicher und männlicher Probanden

Die in Kapitel 7.2.1 bereits rechnerisch ermittelten Unterschiede der gemessenen Geschwindigkeiten von Frauen und Männern werden in Abbildung 34 graphisch dargestellt. Die Abbildung zeigt wiederum die Einzelmesswerte der männlichen und weiblichen Probanden pro Kurvenradius. Zusätzlich werden die Mittelwerte der Einzelmessungen und logarithmische Regressionskurven für jedes Geschlecht dargestellt.

Dabei ist ersichtlich, dass die mittleren Geschwindigkeiten der männlichen Probanden bei jedem Radius höher liegen als jene der weiblichen Probanden. Durchschnittlich ergibt sich ein Unterschied von 7,5 km/h.

Die geschlechterspezifischen Regressionskurven verlaufen annähernd parallel, wobei mit steigendem Kurvenradius die Differenz der mittleren Geschwindigkeiten leicht anwächst (von rd. 4 km/h bei $R = 70$ m zu rd. 8 km/h bei $R = 370$ m).

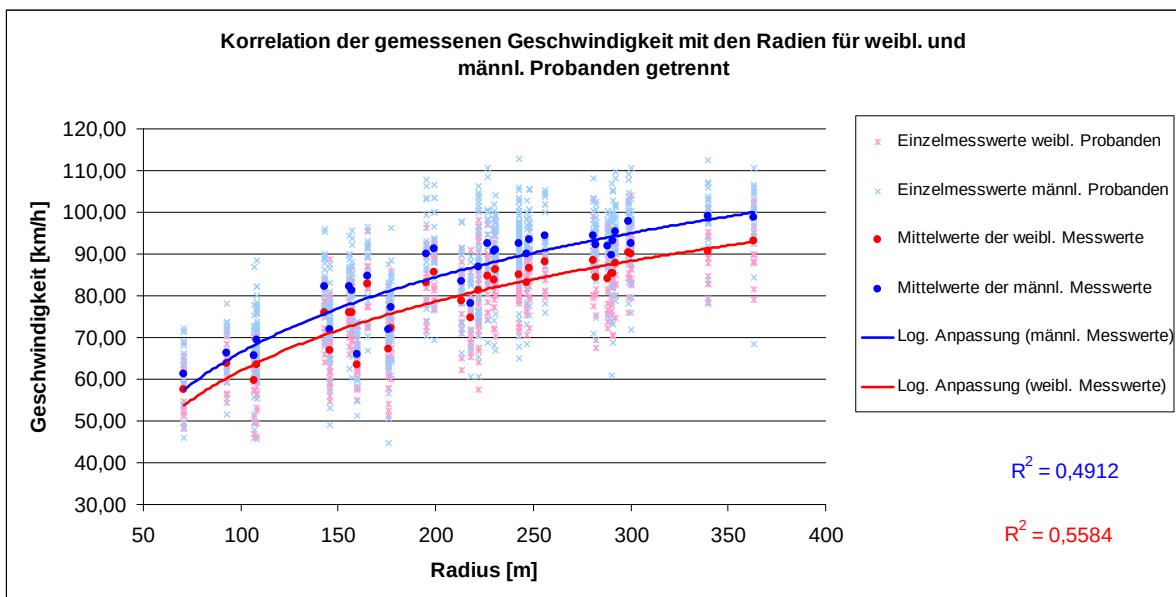


Abbildung 34: Geschlechtsspezifische Unterschiede der gemessenen Geschwindigkeiten

Streuung der Messwerte

In einem weiteren Schritt wurden die Messwerte auf deren Streuung untersucht und für die weiblichen und männlichen Probanden dargestellt. Grundsätzlich ergeben sich für jeden Radius große Unterschiede der gemessenen Geschwindigkeiten. Diese sind zum einen durch die generell unterschiedlichen Fahrstile und zum anderen durch die situationsbezogene Wahl der Geschwindigkeit erklärbar. So ergeben sich für gleich große Radien erhebliche Unterschiede der gemessenen Geschwindigkeiten bei demselben Probanden.

Beispielsweise wurden für den kleinsten Radius ($R = 70 \text{ m}$) ein Maximalwert von rund 72 km/h und ein Minimalwert von 46 km/h gemessen. Dies ergibt eine Streubreite von 26 km/h .

Wie schon bei den vorangegangenen Graphiken sind in Abbildung 35 die Einzelmesswerte und Mittelwerte mit der Unterscheidung nach dem Geschlecht dargestellt. Zusätzlich wurde das $68,3\%$ Intervall ($\mu \pm \sigma$) ermittelt. Dieses Intervall umfasst bei einer normalverteilten Zufallsvariable rund 70% der Messwerte und dient der Veranschaulichung der Streuung.

Generell ist die Streuung der gemessenen Geschwindigkeiten bei größeren Radien geringfügig höher als bei kleinen Radien. Das Intervall ($\mu \pm \sigma$) weist bei Radien kleiner 100 m eine Breite von rund 15 km/h auf und steigt kontinuierlich bis zu einer Intervallsbreite von rund 16 km/h .

Weiters zeigt Abbildung 35, dass die Messungen der männlichen Probanden eine größere Streuung als die der weiblichen aufweisen. Das Intervall ($\mu \pm \sigma$) der Männer ist im Mittel um $3,8 \text{ km/h}$ breiter als jenes der weiblichen Probanden.

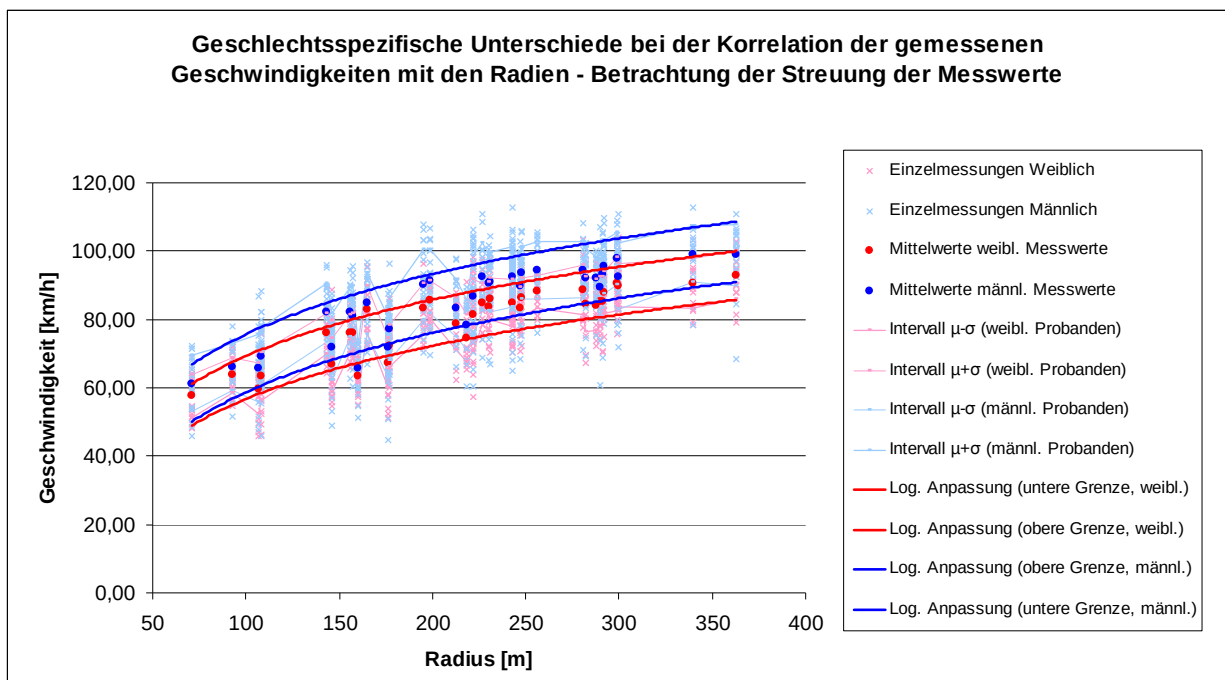


Abbildung 35: Streuung der Messwerte unterschieden nach dem Geschlecht

Altersspezifische Unterschiede

Neben den geschlechtsspezifischen Unterschieden der gefahrenen Geschwindigkeit sollen auch die altersspezifischen Unterschiede im Fahrverhalten dargestellt werden.

Dafür wurden die Messwerte nach den Altersgruppen Jung, Mittel und Alt sortiert und in Abbildung 36 in unterschiedlichen Farben dargestellt. Jede Altersgruppe weist rund 12 Messwerte pro Radius bzw. Kurve auf. Für manche Radien konnten nicht alle Messungen verwendet werden, da Datenpunkte von beeinflussten Fahrtabschnitten ausgeschlossen worden sind. Zur Veranschaulichung der altersspezifischen Unterschiede wurden in der Graphik logarithmische Ausgleichskurven angepasst.

Anhand dieser Kurven ist ersichtlich, dass die mittleren Geschwindigkeiten der Altersgruppe Mittel etwas über jenen der Gruppen Jung und Alt liegen.

Zwischen den Altersgruppen 1 (Jung) und 3 (Alt) gibt es keinen erkennbaren Unterschied der mittleren Geschwindigkeiten. Dies wird durch die Berechnungen der Mittelwerte mittels SPSS bestätigt.

Der Unterschied der Gruppe Mittel zu den beiden anderen Testgruppen ist für kleine Radien am größten. Für größere Radien nähern sich die drei Regressionskurven einander an. Wie auch schon bei der Auswertung für die Querbefleunigung weist die mittlere Altersgruppe, insbesondere für die kleinen bis mittleren Radienklassen, höhere Geschwindigkeiten auf.

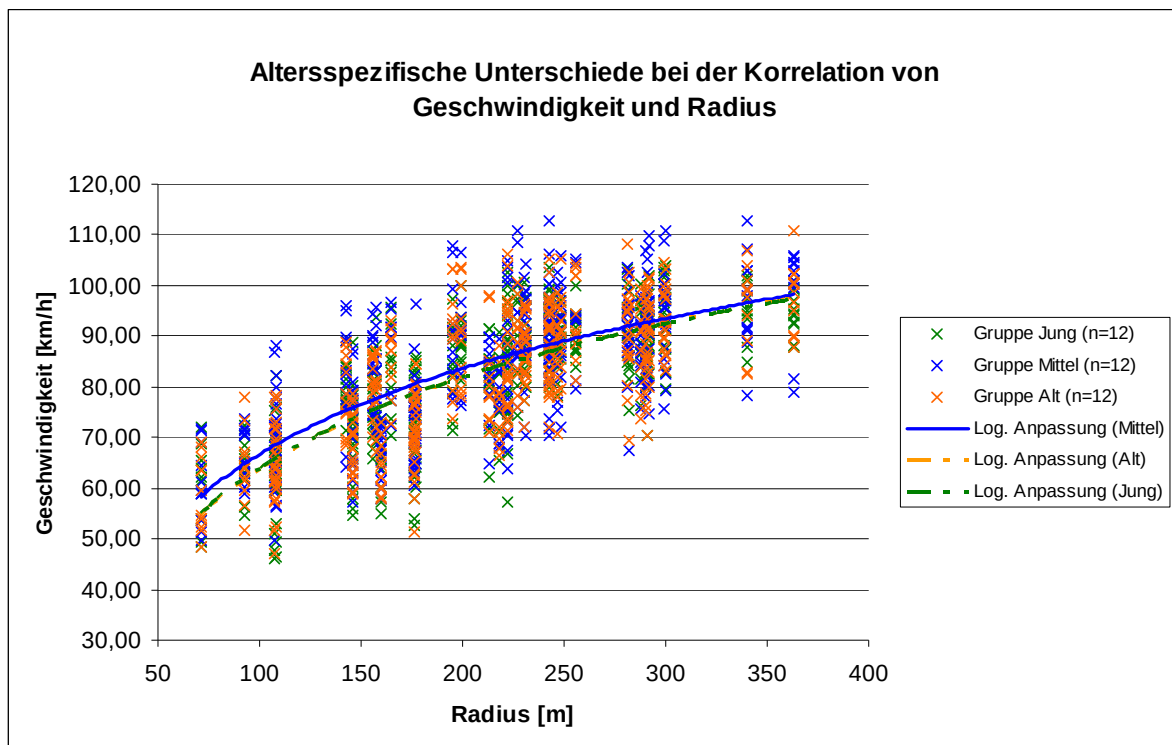


Abbildung 36: Altersspezifische Unterschiede der gemessenen Geschwindigkeiten

7.2.4 Betrachtung unterschiedlicher Fahrstile

In analoger Vorgangsweise zu Kapitel 7.1.4 erfolgt eine Zuordnung der gemessenen Geschwindigkeiten zu zwei Fahrstilen. Dafür wurden keine alters- oder geschlechtsspezifischen Unterteilungen vorgenommen. Die Einteilung bzw. Zuteilung zu den beiden Fahrstilen (Schnell, Langsam) erfolgte nur anhand der mittleren gemessenen Geschwindigkeiten. Den beiden Gruppen wurden die 6 schnellsten bzw. die 6 langsamsten (15% von 40) Probanden zugeteilt.

In Abbildung 37 sind die Einzelmesswerte jedes Fahrstils in verschiedenen Farben dargestellt. Weiters wurde für jeden Fahrstil eine logarithmische Anpassungskurve eingefügt. Diese beiden Kurven zeigen generell einen ähnlichen bzw. parallelen Verlauf, wobei bei großen Radien der Unterschied etwas anwächst.

Die Geschwindigkeiten des schnellen Fahrstils liegen im Mittel um rund 20 km/h höher als jene der langsamen Gruppe.

Zusammensetzung der Fahrstil-Gruppen

Neben den Messwerten der beiden Fahrstile wird in Abbildung 37 auch zwischen weiblichen und männlichen Probanden pro Gruppe unterschieden. Eine Übersicht der genauen Zusammensetzung der Testpersonen für jeden Fahrstil ist in der Tabelle 12 angeführt. Aus der graphischen und tabellarischen Darstellung ist ersichtlich, dass der schnelle Fahrstil, wie schon bei der Auswertung für die Querbeschleunigung, hauptsächlich männlichen Probanden, der langsame Fahrstil vorwiegend weiblichen Probanden zugeordnet werden kann.

Die männlichen Probanden der mittleren Altersgruppe bilden den Großteil des schnellen Fahrstils. Die junge Altersgruppe der Männer ist bei dieser Einteilung (15% der Schnellsten und Langsamsten) nicht vertreten und befindet sich somit im mittleren Geschwindigkeitsfeld. Zwei ältere, männliche Probanden sind dem langsamen Fahrstil zugeordnet. Die weiblichen Probanden verteilen sich gleichmäßig innerhalb des langsamen Fahrstils. Der schnelle Fahrstil wird lediglich von einer Probandin der Altersklasse Jung besetzt.

Tabelle 12: Zusammensetzung der Gruppen des Fahrstils hinsichtlich der Geschwindigkeit

Fahrstil		
Männer	Schnell	Langsam
Jung	0	0
Mittel	4	0
Alt	1	2
Frauen	Schnell	Langsam
Jung	1	2
Mittel	0	1
Alt	0	1
Σ	6	6

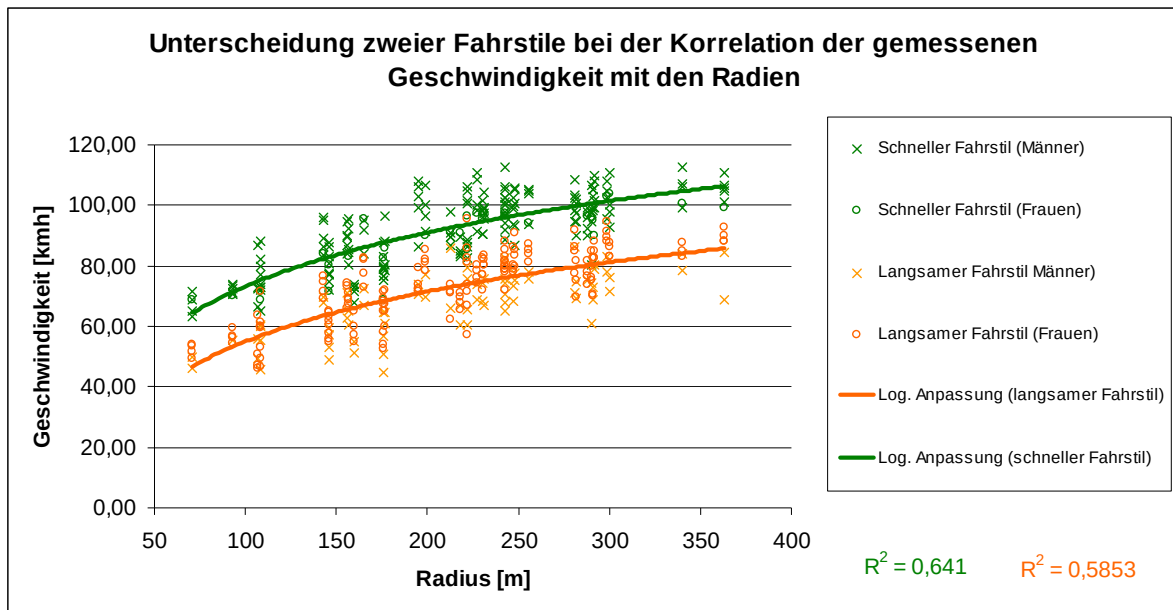


Abbildung 37: Unterscheidung zweier Fahrstile anhand der gemessenen Geschwindigkeit

Berechnungsmodelle – Fahrstil

Die Einteilung und anschließende Auswertung der beiden Fahrstile Schnell und Langsam ergeben folgende zwei Berechnungsmodelle für die mittlere Geschwindigkeit mit dem jeweiligen höchsten Bestimmtheitsmaß. Dabei ist die gewählte Geschwindigkeit allein vom Kurvenradius R abhängig.

Schneller Fahrstil :	$V \text{ in [km/h]} = 25,697 \ln(R) - 45,103$	$R^2 = 0,641$
Langsamer Fahrstil:	$V \text{ in [km/h]} = 23,85 \ln(R) - 54,846$	$R^2 = 0,585$

Das Bestimmtheitsmaß ist beim schnellen Fahrstil deutlich höher als beim langsamen Fahrstil. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass die Probanden des schnellen Stils stärker von der Radiengröße beeinflusst werden und somit diese Personen untereinander eine geringere Streuung aufwiesen. Die Probanden des langsamen Fahrstils wählen frei von äußeren Zwängen, wie der Streckengeometrie, ihre Geschwindigkeit und weisen deshalb eine höhere Streuung auf.

7.3 Unterschiede in den Ergebnissen der Auswertung für Querbeschleunigung und Geschwindigkeit

Für beide Variablen (Geschwindigkeit und Querbeschleunigung) wurden signifikante Unterschiede bezüglich des Geschlechts festgestellt. Demnach führen die männlichen Probanden im Durchschnitt schneller bzw. akzeptierten höhere Querbeschleunigungen als die weiblichen Probanden.

Die altersabhängige Auswertung ergab Unterschiede bei den Ergebnissen. So wurden bei der Analyse für die Querbeschleunigung signifikante Unterschiede zwischen den weiblichen Altersgruppen berechnet. Diese traten jedoch bei der Auswertung für die Geschwindigkeit nicht auf. Ähnliche Diskrepanzen sind bei den Ergebnissen für Männer ersichtlich.

Mögliche Gründe dafür können unter anderem sein, dass

- durch unterschiedliche Lenkmanöver die Querbeschleunigungen bei gleicher Geschwindigkeit stark variieren
- durch „Kurvenschneiden“ niedrigere Querbeschleunigungen auftreten als bei „normaler Kurvenfahrt“

Der Vergleich der Regressionsanalysen für die Querbeschleunigung und die Geschwindigkeit zeigt, dass bei der Auswertung für die Geschwindigkeit das Regressionsmodell eine deutlich höhere erklärbare Varianz (56% zu rd. 35%) aufweist als das Modell für die Querbeschleunigung. Ein möglicher Erklärungsansatz dafür ist, dass eine stärkere Korrelation des Radius mit der Geschwindigkeit als mit der Querbeschleunigung besteht. Die Größe der Querbeschleunigung hängt von zusätzlichen Faktoren, wie der momentanen Einlenkgeschwindigkeit und der gewählten Fahrlinie ab.

7.4 Ergebnisse und Vergleiche von V_{85} - Geschwindigkeiten aus Testfahrten, Lasermessungen und Richtlinien

7.4.1 Vergleich der Daten aus den Messfahrten und den Lasermessungen

Als Vergleichsgröße zu den Messdaten aus den Testfahrten wurden bei acht geeigneten Kurven Lasermessungen durchgeführt. Aus diesen Einzelmessungen mittels Laserpistole wurden die V_{85} -Geschwindigkeiten berechnet und mit jenen aus den Testfahrten verglichen. Die Ergebnisse sollten zeigen, ob das Wissen der Probanden, dass es sich um Testfahrten mit Geschwindigkeitsaufzeichnungen handelte, Einfluss auf deren Fahrstil hatte. Der Vergleich mit Lasermessungen von zufällig vorbeifahrenden Pkw sollte demnach ausschließen, dass die Probanden bei den Testfahrten deutlich anders agierten als unbeobachtete Personen.

In Abbildung 38 sind die ermittelten V_{85} -Geschwindigkeiten aus den Testfahrten und aus den Lasermessungen gegenübergestellt. Der Stichprobenumfang umfasst für die Testfahrten rund 40 Messungen (teilweise etwas weniger aufgrund der Bereinigung von beeinflussten Fahrtabschnitten). Die V_{85} -Werte für die Lasermessungen wurden anhand von Einzelmessungen mit dem Umfang von $50 < n < 65$ berechnet. Weiters wird in diesem Diagramm die Differenz zwischen den verglichenen V_{85} -Geschwindigkeiten als eigener Balken dargestellt.

Der Vergleich zeigt, dass die V_{85} -Werte aus den Testfahrten sehr gut mit jenen aus den Lasermessungen übereinstimmen und kein genereller Trend erkennbar ist. Die größte Differenz zwischen den Vergleichswerten beträgt für die Kurve 7 (Radius = 282 m) 6 km/h. Im Mittel liegen die V_{85} -Geschwindigkeiten aus den Testfahrten um 1,4 km/h höher als jene aus den Lasermessungen.

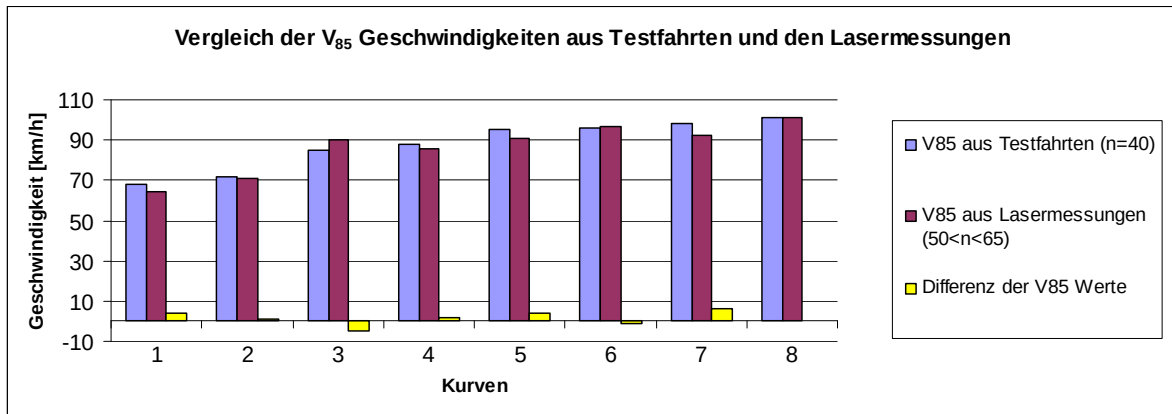


Abbildung 38: Vergleich: Lasermessungen mit Messungen aus Testfahrten anhand von 8 Kurven

Tabelle 13 zeigt eine genaue Auflistung der errechneten V_{85} -Geschwindigkeiten und der Mittelwerte inklusive Standardabweichung. Weiters ist der genaue Stichprobenumfang der Lasermessungen für die einzelnen Kurven angegeben. Die letzten beiden Spalten zeigen die errechneten Differenzen der V_{85} -Werte und der Mittelwerte.

Tabelle 13: Gegenüberstellung von Lasermessung und Werten aus der Testfahrt

Radius [m]	Messung - Testfahrt (n=40), [km/h]			Kontrollmessung - Laser [km/h]				Differenz [km/h]	
	V_{85}	Mittelwert	Stabw.	V_{85}	Mittelwert	Stabw.	Anzahl	ΔV_{85}	ΔV_{mitt}
71	68	59,39	7,48	64	58,91	5,17	n = 55	4	0
93	72	64,99	6,06	71	64,38	6,62	n = 50	1	1
143	88	79,15	7,74	86	78,35	8,46	n = 60	2	1
157	85	78,65	7,75	90	79,91	9,30	n = 57	-5	-1
222	101	84,21	11,46	101	91,40	9,39	n = 62	0	-7
230	96	87,59	8,53	97	84,51	12,64	n = 57	-1	3
282	98	88,64	9,58	92	80,66	10,71	n = 64	6	8
290	95	87,53	8,92	91	82,85	9,25	n = 60	4	5

Vergleich der Varianzen

Neben dem direkten Vergleich der V_{85} -Geschwindigkeit wurde auch die Streubreite der Einzelmessungen aus der Lasermessung und jene aus den Testfahrten gegenübergestellt.

Abbildung 39 zeigt die Einzelmesswerte der Lasermessungen (für 8 Kurven) und der Testfahrten (für 40 Kurven). Daran kann visuell ein erster Vergleich der Streubreite (Varianz) der Messwerte gezogen werden. Die Graphik verdeutlicht, dass die Streuungen der Messwerte für fünf Kurven annähernd identisch, für die restlichen drei Kurven geringfügig unterschiedlich sind. Weiters ist ersichtlich, dass die Kontrollmessungen, gleichmäßig auf alle Radienklassen verteilt, durchgeführt wurden.

Diese visuelle Abschätzung wird durch die in Tabelle 13 gegenübergestellten Standardabweichungen der Mittelwerte aus Testfahrten und Lasermessungen bekräftigt (größere Unterschiede farblich hinterlegt).

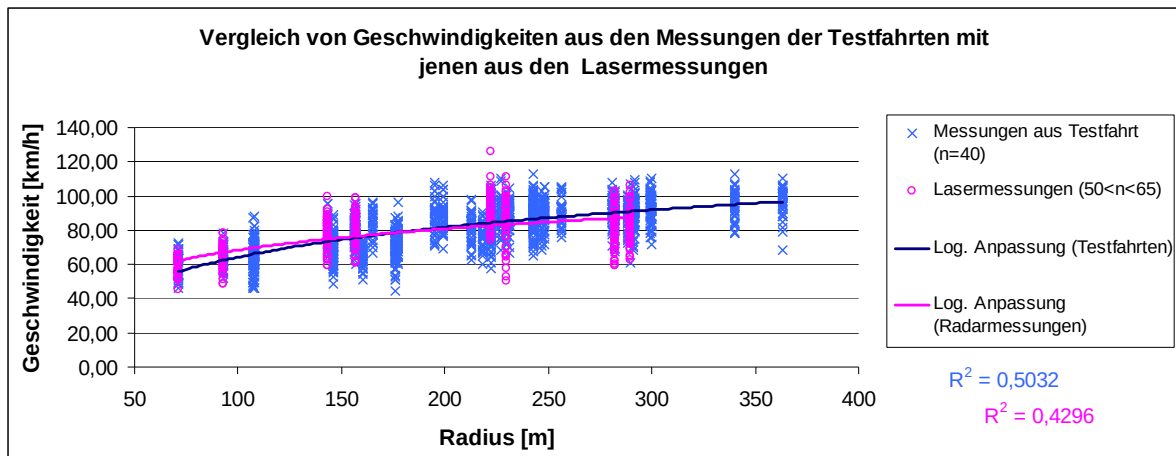


Abbildung 39: Vergleich der Streuung der Lasermessung mit Messungen aus Testfahrten

7.4.2 Vergleich der ermittelten V_{85} -Geschwindigkeiten mit Studien und Richtlinien

In diesem Kapitel erfolgt ein Vergleich der ermittelten V_{85} -Geschwindigkeiten mit jenen aus der Überarbeitungsversion der österreichischen Richtlinie RVS 03.03.23 [7] und der deutschen RAS-L [9]. Weiters wird das Berechnungsmodell mit der besten Anpassung (größtes Bestimmtheitsmaß) ermittelt und mit internationalen Modellen zur Berechnung der V_{85} -Geschwindigkeit verglichen.

Vergleich mit der Überarbeitungsversion der RVS 03.03.23 [7]

In der Überarbeitungsversion der österreichischen „Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen – Linienführung (RVS 03.03.23)“ erfolgt die Ermittlung der V_{85} - Geschwindigkeit (Projektierungsgeschwindigkeit) in Abhängigkeit vom Bodenradius R. Dabei werden unterschiedlichen Radienklassen gerundete Projektierungsgeschwindigkeiten zugeordnet (vgl. Tabelle 14).

Tabelle 14: V_{85} Ermittlung für verschiedene Radienklassen (Quelle: [7])

R [m]	→	V_p [km/h]
≤ 39	→	40
40 - 59	→	50
60 - 99	→	60
100 - 149	→	70
150 - 229	→	80
230 - 329	→	90
330 - 429	→	100
430 - 529	→	110
530 - 659	→	120
≥ 660	→	130

Abbildung 40 zeigt eine Gegenüberstellung der berechneten V_{85} -Geschwindigkeiten aus den Testfahrten ($n = 40$) mit den in [7] angeführten Werten.

Die klassenweise Festlegung der Projektierungsgeschwindigkeit laut Überarbeitungsversion der österreichischen Richtlinie bedingt einen treppenartigen Verlauf. So wird beispielsweise den Radien mit $R = 100$ m bis zu $R = 149$ m dieselbe Projektierungsgeschwindigkeit von $V_{85} = 70$ km/h zugeordnet. Danach erfolgt ein 10 km/h-Sprung zu der höheren Radienklasse.

In der Abbildung wurde an die Einzelmessungen aus den Testfahrten eine logarithmische Regressionskurve angepasst.

Vergleicht man die beiden Kurven (Testfahrt und der [7]), so liegt die Treppenlinie aus der Richtlinie für alle Radienklassen unterhalb der gemessenen Werte der vorliegenden Arbeit. Im Übergangsbereich von einer Radienklasse zur nächsten ergeben sich nur geringe Differenzen von wenigen Kilometern pro Stunde. Innerhalb der Klassen wächst der Unterschied bis zu rd. 10 km/h an.

Vergleicht man die Einzelwerte aus den Testfahrten für jede Kurve mit der Überarbeitungsversion der RVS 03.03.23, so liegen drei Werte unter jener der Richtlinie. Die restlichen 37 Werte, dies entspricht rund 93%, weisen höhere V_{85} -Geschwindigkeiten auf.

Grundsätzlich wurden demzufolge um bis zu 10 km/h bis 15 km/h höhere V_{85} -Geschwindigkeiten ermittelt als Projektierungsgeschwindigkeiten in [7] angegeben sind. Als mögliche Ursache für die deutlichen Unterschiede kann der unterschiedliche Straßenzustand angesehen werden. Den angeführten V_{85} -Werten der Überarbeitungsversion der RVS liegt ein nasser, sauberer Straßenzustand zugrunde. Die niedrigeren Projektierungsgeschwindigkeiten in [7] bedingen ebenfalls geringere Werte für die notwendigen Sichtweiten bei der Planung von Straßen. Dem ersten Anschein nach ist die Überarbeitungsversion der österreichischen RVS demnach eher auf der „unsicheren Seite“ zu sehen.

Weitere Untersuchungen bzw. Messungen auf nasser Fahrbahn sind nötig, damit festgestellt wird, ob die V_{85} -Geschwindigkeiten sich deutlich von jenen in der vorliegenden Arbeit (trockene Fahrbahn) unterscheiden. Diese Untersuchungen könnten zeigen, ob die niedrigeren Projektierungsgeschwindigkeiten im RVS-Entwurf gerechtfertigt sind.

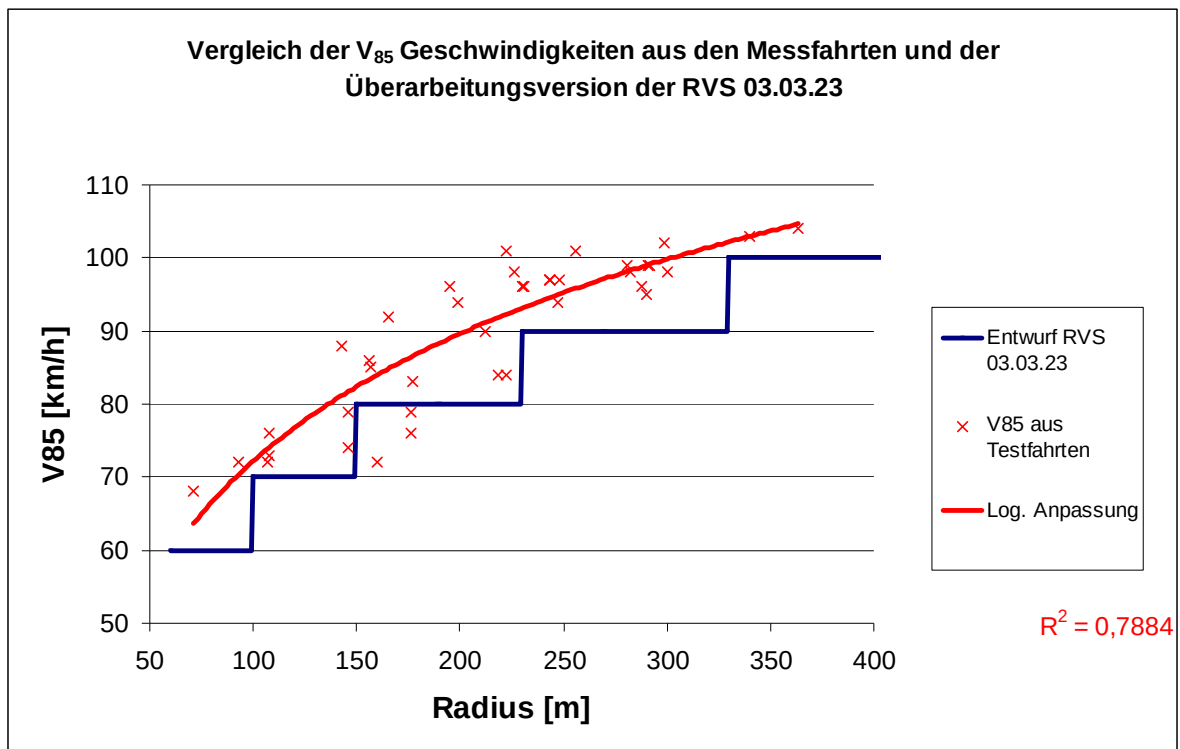


Abbildung 40: Vergleich der ermittelten V_{85} -Werte mit der Überarbeitungsversion der RVS 03.03.23

Vergleich mit der RAS – L [9]

Die deutschen „Richtlinien für die Anlage von Straßen – Linienführung (RAS-L)“ beschreiben zwei unterschiedliche Ansätze zur Bestimmung der Projektierungsgeschwindigkeiten (V_{85}). Neben der Ermittlung anhand der Kurvigkeit eines längeren Streckenabschnitts beschreibt die Richtlinie auch die Bestimmung für Einzelkurven in Abhängigkeit von der Fahrbahnbreite und dem Kurvenradius.

Für den Vergleich mit den Messwerten der vorliegenden Arbeit werden die Projektierungsgeschwindigkeiten für Einzelkurven gegenübergestellt. Abbildung 41 zeigt die ermittelten V_{85} -Geschwindigkeiten aus den Testfahrten des zweiten Streckenabschnittes ($n = 13$). Dieser weist durchgängig kleinere Fahrbahnbreiten als 6,0 m auf. Gegenübergestellt sind die graphisch ermittelten Projektierungsgeschwindigkeiten aus der RAS-L für Fahrbahnbreiten kleiner als 6,5 m [9].

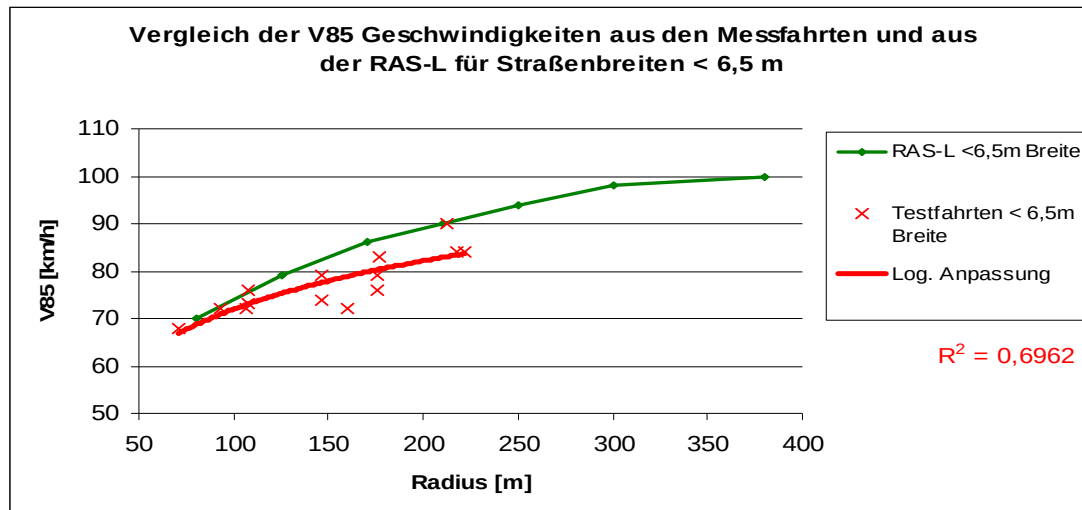


Abbildung 41: Vergleich der gemessenen V_{85} -Werte mit RAS – L für Fahrbahnbreiten < 6,5 m

Ein Vergleich für Straßenbreiten kleiner als 6,5 m ist nur für Radien unter 230 m möglich, da bei der Auswertung des zweiten Streckenabschnittes keine geeigneten größeren Radien verwendet werden konnten.

Der Vergleich zeigt, dass die RAS-L grundsätzlich höhere Projektierungsgeschwindigkeiten für diese Fahrbahnbreiten und Radiengrößen vorsieht. Die größte Differenz der Verläufe in Abbildung 41 beträgt rund 5 km/h. Eine mögliche Ursache für die niedrigeren V_{85} -Geschwindigkeiten aus den Testfahrten liegt im Bekanntheitsgrad der Strecke. Da der zweite Streckenabschnitt einem Großteil der Probanden nicht bekannt war, ist eine zusätzliche Geschwindigkeitsreduktion denkbar. Weiters erfolgt die Ermittlung der Projektierungsgeschwindigkeiten in der RAS-L für einzelne Kurven in ansonsten gestreckten Straßenverläufen. Deshalb ist es denkbar, dass in diesen Einzelkurven höhere Geschwindigkeiten auftreten als bei Kurvenabfolgen.

Abbildung 42 zeigt den Vergleich der Werte aus den Testfahrten ($n = 27$) mit jenen aus den RAS-L für Fahrbahnbreiten größer als 6,5 m.

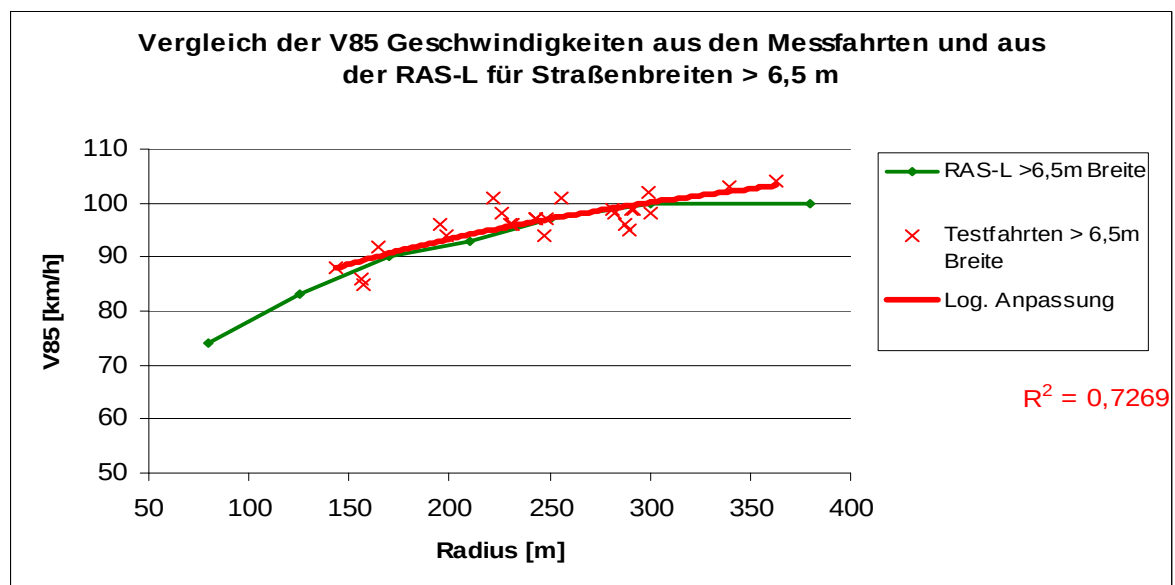


Abbildung 42: Vergleich der gemessenen V_{85} -Werte mit RAS – L für Fahrbahnbreiten > 6,5 m

Beim Vergleich für Fahrbahnbreiten größer als 6,5 m stimmen die beiden Verläufe aus Testfahrt und RAS-L größtenteils überein. Hier ist mit keinem Effekt des Bekanntheitsgrades zu rechnen, da der erste Streckenabschnitt allen Probanden durchwegs bekannt war.

Ab dem Radius von $R = 300$ m trennen sich die beiden Verläufe. Grund dafür ist die in Deutschland geltende Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h auf Freilandstraßen. Die RAS-L geht davon aus, dass bei Radien größer als 300 m die Wahl der Geschwindigkeit nicht mehr anhand der Straßengeometrie, sondern gemäß der gesetzlich höchstzulässigen Geschwindigkeit erfolgt. Bei den Testfahrten überschritten einige Probanden die höchstzulässige Geschwindigkeit und somit ergeben sich V_{85} -Geschwindigkeiten größer 100 km/h.

Tabelle 15 zeigt einen Überblick der verglichenen Projektierungsgeschwindigkeiten (V_{85} -Werte) aus den Testfahrten, den Lasermessungen, der Überarbeitungsversion der RVS 03.03.23 und der RAS-L. Für die Geschwindigkeiten aus den Testfahrten wurde bei dieser Gegenüberstellung keine Aufteilung nach der Fahrbahnbreite vorgenommen.

Tabelle 15: Zusammenfassung der verglichenen V_{85} -Werte

Vergleich V_{85} -Geschwindigkeiten								
Radienklasse [m]	Radius [m]	Entwurf RVS [km/h]	RAS >6,5 [km/h]	RAS <6,5 [km/h]	Testfahrt [km/h]	n	Laser [km/h]	n
60-99	80	60	74	70	70	2	68	2
100-149	125	70	83	79	77	6	86	1
150-189	170	80	90	86	82	7	90	1
190-229	210	80	93	90	92	7	101	1
230-269	250	90	97	94	97	8	97	1
270-329	300	90	100	98	98	8	92	2
330-429	380	100	100	100	104	2		
						Σ 40		Σ 8

Vergleich mit internationalen Modellen zur Berechnung der V_{85}

Castro [3] vergleicht in seiner Studie eigene Messwerte aus Testfahrten mit anderen internationalen Modellen zur Berechnung der Projektierungsgeschwindigkeit. In diesem Abschnitt erfolgt nun ebenfalls exemplarisch eine Gegenüberstellung der Messwerte der vorliegenden Arbeit mit einigen Modellen aus verschiedenen Studien.

Tabelle 2 (Seite 15) zeigt eine Zusammenfassung der von Castro zitierten Autoren, deren Modellgleichungen und das Erscheinungsjahr der Studien. Abbildung 43 vergleicht die Messwerte mit den Modellen folgender Autoren:

- Lippold (Deutschland, 1999)
- Fitzpatrick (USA, 1999)
- Kanellaidis (Griechenland, 1990)
- Castro (Spanien, 2008)

Diese Studien wurden gewählt, da ihre Modellgleichungen eine Berechnung der V_{85} -Geschwindigkeiten nur anhand des Kurvenradius vorsehen und somit untereinander vergleichbar sind.

Die Abbildung 43 zeigt, dass der Verlauf aus den Messwerten der vorliegenden Arbeit sich größtenteils im „Mittelfeld“ der verglichenen Studien befindet. Für größere Radien nähert sich der Verlauf dem Modell von Kanellaidis an, da dieses in diesem Bereich die größten V_{85} -Geschwindigkeiten errechnet.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit liefern bei einem logarithmischen Berechnungsmodell das größte Bestimmtheitsmaß ($R^2 = 0,79$).

Die logarithmische Modellgleichung lautet:

$$V_{85} = 25,12 \ln(R) - 43,46 \quad R^2 = 0,788$$

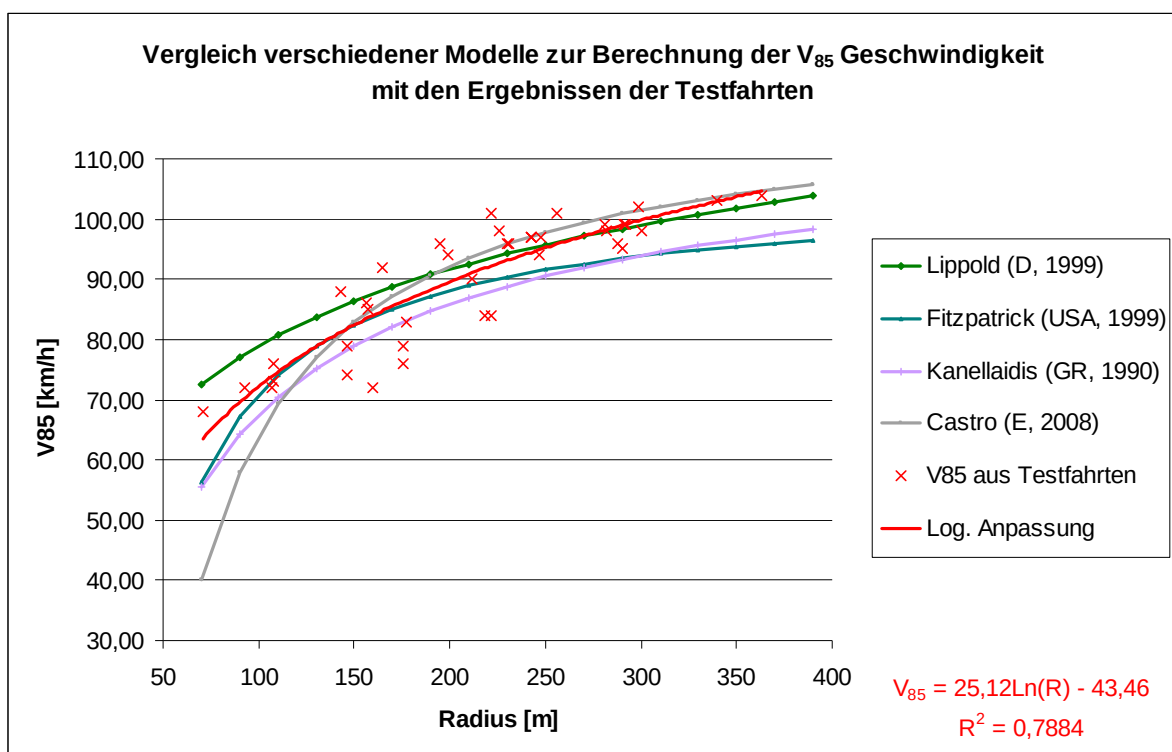


Abbildung 43: : Vergleich der gemessenen V_{85} -Werte mit internationalen Berechnungsmodellen

7.4.3 Vergleich theoretischer Querbeschleunigungen berechnet anhand von V_{85} -Geschwindigkeiten

Neben dem Vergleich der V_{85} -Geschwindigkeiten aus den Testfahrten und den Projektierungsgeschwindigkeiten aus der Überarbeitungsversion der RVS 03.03.23 werden in diesem Kapitel die theoretisch auftretenden Querbeschleunigungen, berechnet aus den V_{85} -Geschwindigkeiten, gegenübergestellt. Mittels der Eingangsgrößen Geschwindigkeit, Radius und Querneigung kann die theoretische Querbeschleunigung berechnet werden (vgl. Kapitel 2.1). Will man die Querbeschleunigung ermitteln, die von 85% der Fahrer erreicht bzw. unterschritten wird, so verwendet man die V_{85} -Geschwindigkeit zur Berechnung:

$$a_{quer} = \frac{V_{85}^2}{R} * \cos(\alpha) - g * \sin(\alpha)$$

Abbildung 44 zeigt die theoretischen Querbeschleunigungen errechnet mit Hilfe der V_{85} -Geschwindigkeiten aus den Testfahrten und der Überarbeitungsversion der RVS 03.03.23. Die „Treppenlinie“ der Projektierungsgeschwindigkeit erzeugt auch für die Querbeschleunigung einen charakteristischen, sägezahnartigen Verlauf.

Die V_{85} -Geschwindigkeiten der vorliegenden Arbeit sind als Einzelwerte pro Kurve und ebenfalls als Verlauf (logarithmische Anpassung) dargestellt.

Die Gegenüberstellung der Querbeschleunigungen zeigt, dass bei den durchgeführten Testfahrten höhere Werte akzeptiert wurden als im Überarbeitungsentwurf der österreichischen Richtlinien angeführt sind (siehe Tabelle 16). Dies ist auch auf die unterschiedlichen Straßenzustände zurückzuführen, da in [7] der Projektierungsgeschwindigkeit ein nasser Straßenzustand zugrunde liegt.

Tabelle 16: Vergleich berechneter Querbeschleunigungen für Testfahrt und Überarbeitungsversion der RVS 03.03.23

Radius	Testfahrt	RVS-Entwurf
[m]	[m/s ²]	[m/s ²]
70	4,5	3,8
100	3,7	3,4
150	3,2	2,9
230	2,8	2,3
330	2,2	1,9

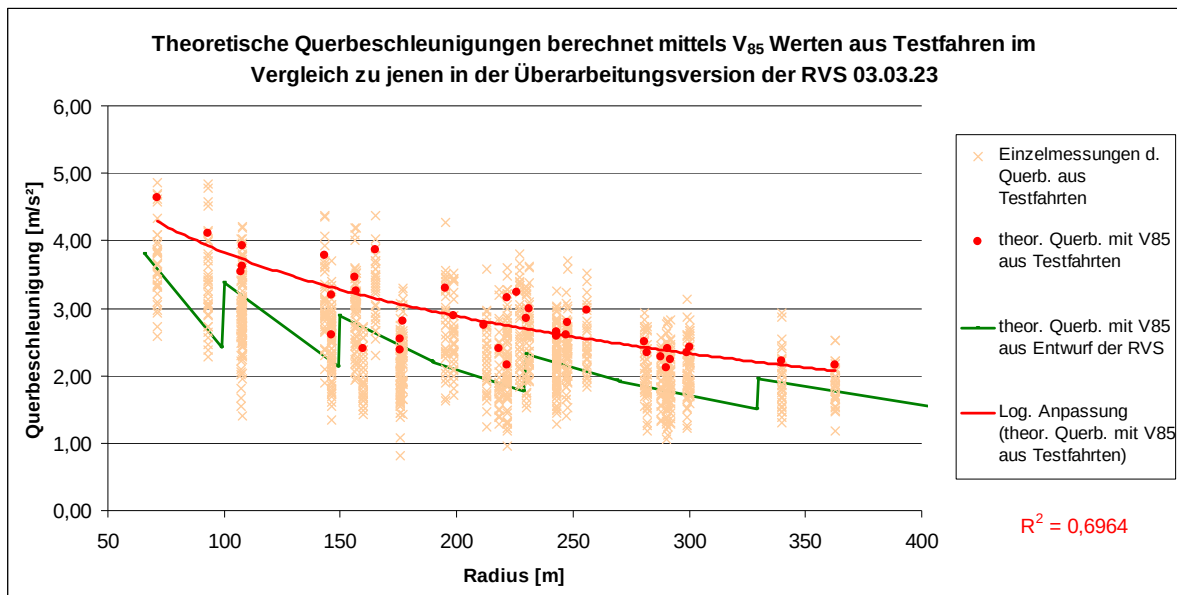


Abbildung 44: Mittels V_{85} -Geschwindigkeiten berechnete Querbeschleunigungen

7.5 Vergleich der Messungen aus Streckenabschnitt 1 und 2

Die Teststrecke teilt sich, wie in Kapitel 3.3 beschrieben, in zwei Abschnitte mit unterschiedlicher Fahrbahnbreite und Bekanntheitsgrad bei den Probanden. Dabei bildet die Landesstraße B29 zwischen Obergrafendorf und Kilb mit einer Fahrbahnbreite $> 6,0$ m und hoher Bekanntheit den ersten Streckenabschnitt. Der zweite Abschnitt, die Landesstraße L5235, weist eine Fahrbahnbreite $< 6,0$ m auf. Er war den meisten Probanden unbekannt.

Die Fahrbahnbreite wird in der Literatur für viele Modelle als wichtige Einflussgröße bei der Wahl der Geschwindigkeit in Kurven angeführt. Ebenso unterscheidet die FGSV in der Richtlinie RAS-L [9] bei der kurvenabhängigen Bestimmung der V_{85} -Geschwindigkeiten zwischen zwei Fahrbahnbreiten (siehe Kapitel 2).

Zusätzlich zu den Fahrbahnbreiten wirkt der Effekt der unterschiedlichen Bekanntheit beider Streckenabschnitte.

Im Folgenden sollen die Messwerte für die Querschleunigung und Geschwindigkeit exemplarisch für die beiden Abschnitte verglichen werden. Dazu wurden zwei Kurvenpaare gewählt, die jeweils gleichgroße Radien aufweisen.

Abbildung 45 bis Abbildung 48 zeigen die jeweils in den vier Kurven gemessenen Querschleunigungen und Geschwindigkeiten der 40 Probanden. Dabei werden Kurven mit identischem Radius, jedoch von den beiden verschiedenen Streckenabschnitten, miteinander verglichen. Die Graphiken zeigen, dass zwar einzelne Messwerte (Extremwerte) auf der L5235 über jenen Werten, gemessen auf der B29, liegen. Genauso bewegen sich Einzelwerte des ersten Streckenabschnittes im Bereich der Messwerte des zweiten Abschnittes.

Bei Betrachtung der berechneten Mittelwerte ergeben sich allerdings doch eindeutige Unterschiede beim Vergleich der gemessenen Querschleunigungen und Geschwindigkeiten zwischen den beiden Streckenabschnitten.

Rechnerisch ergibt sich für die Geschwindigkeit ein Unterschied im Mittel von rund 10 km/h zwischen den Messungen der beiden Streckenabschnitte. Die mittlere Querschleunigung liegt bei dem zweiten Streckenabschnitt rund $0,8 \text{ m/s}^2$ unter jener des ersten Abschnittes.

Diese Ergebnisse weisen auf einen Einfluss der Fahrbahnbreite und des Bekanntheitsgrades auf die Wahl der Geschwindigkeit hin.

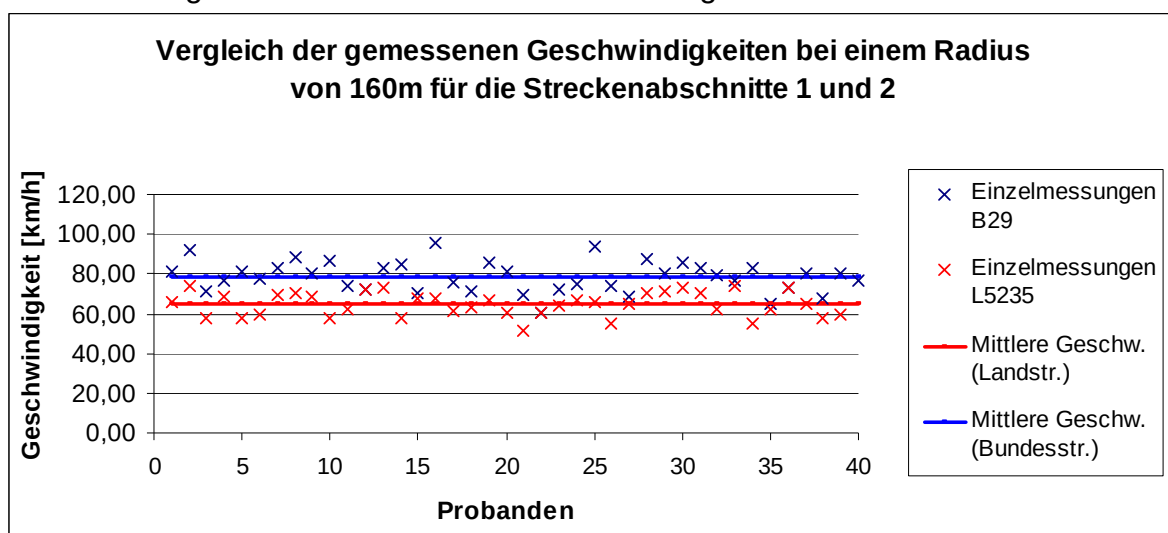


Abbildung 45: Vergleich der Streckenabschnitte anhand der Geschwindigkeit bei $R = 160$ m

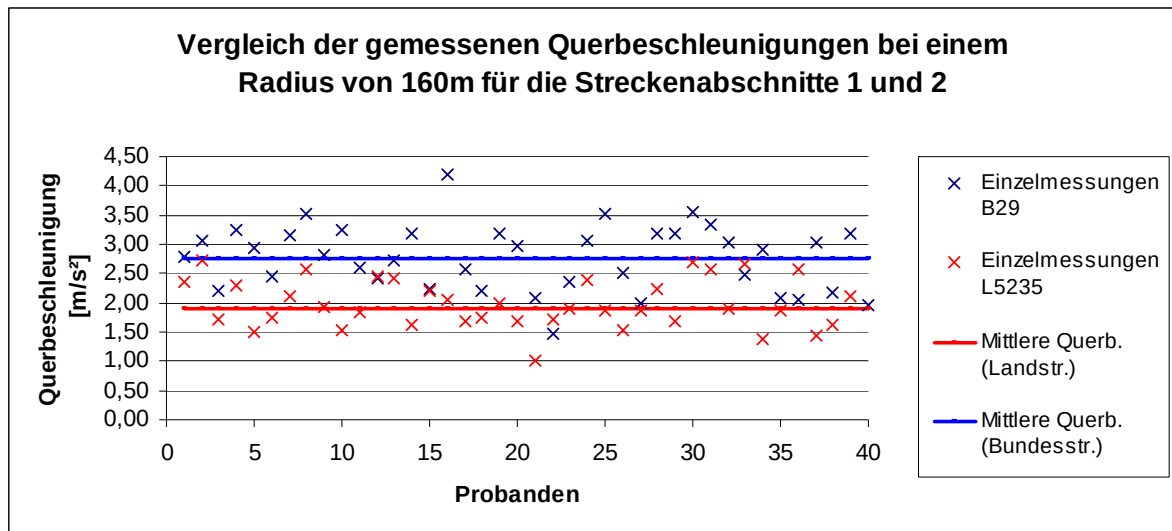


Abbildung 46: Vergleich der Streckenabschnitte anhand der Querbesehleunigung bei $R = 160$ m

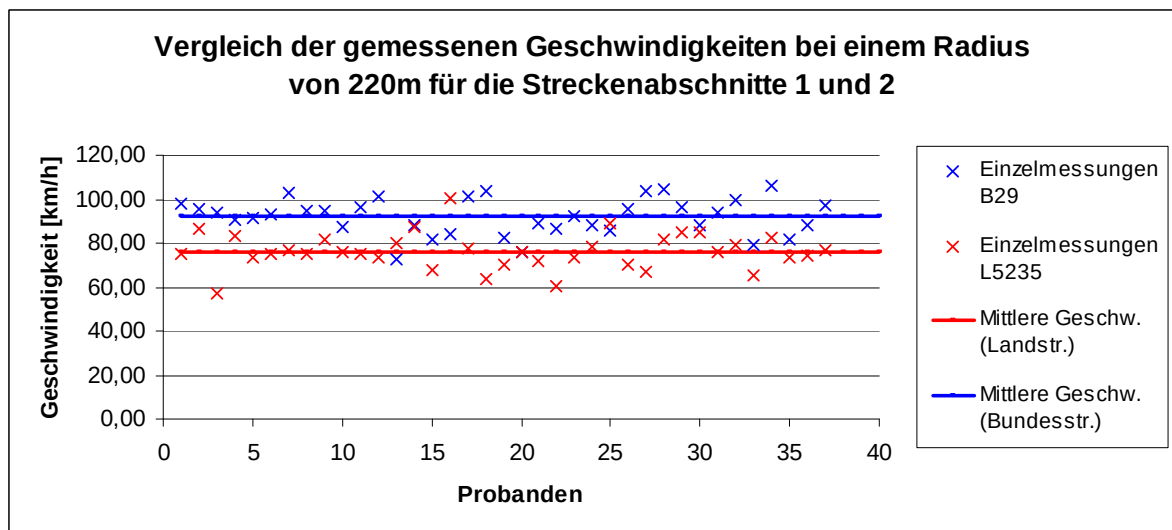


Abbildung 47: Vergleich der Streckenabschnitte anhand der Geschwindigkeit bei $R = 220$ m

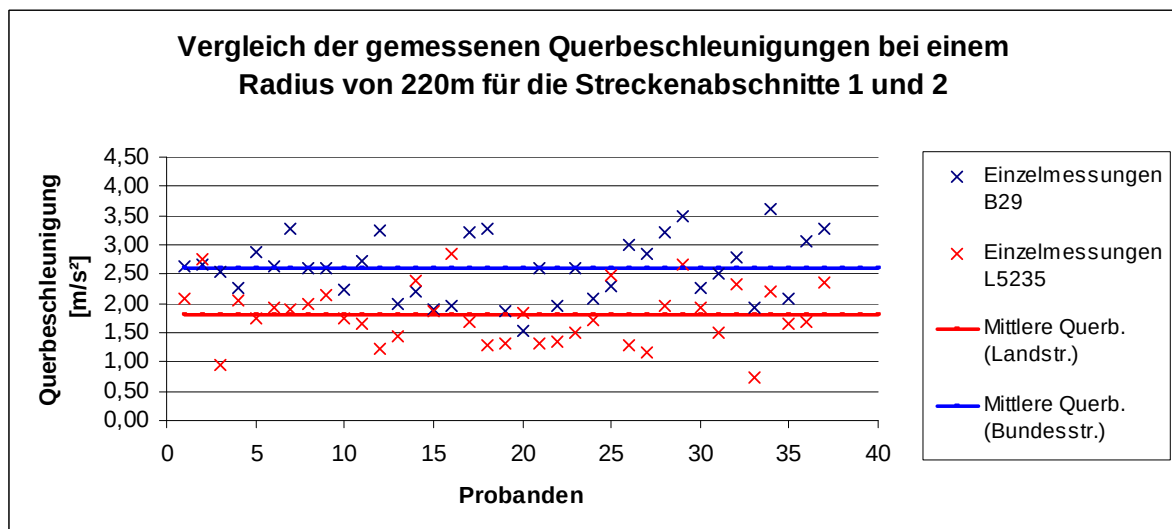


Abbildung 48: Vergleich der Streckenabschnitte anhand der Querbesehleunigung bei $R = 220$ m

7.5.1 Vergleich der V_{85} -Geschwindigkeiten aus den Testfahrten mit den Projektierungsgeschwindigkeiten der Überarbeitungsversion der RVS 03.03.23 für unterschiedliche Fahrbahnbreiten

Im Folgenden werden die Projektierungsgeschwindigkeiten des aktuellen Überarbeitungsentwurfs der RVS 03.03.23 mit den V_{85} -Geschwindigkeiten aus den Messdaten für die beiden Streckenabschnitten gegenübergestellt. In Abbildung 49 sind die Einzelmesswerte der Testfahrten für den ersten Streckenabschnitt mit einer durchgehenden Fahrbahnbreite von $> 6,0$ m und für den zweiten Abschnitt mit einer Fahrbahnbreite $< 6,0$ m dargestellt. Den beiden Datenreihen ist eine logarithmische Kurve angepasst, die den Verlauf veranschaulicht.

Die Graphik zeigt den schon erwähnten Unterschied von rund 10 km/h der ermittelten V_{85} -Geschwindigkeiten zwischen den beiden Streckenabschnitten. Der Vergleich mit den Projektierungsgeschwindigkeiten (Treppelinie) des Überarbeitungsentwurfs der RVS 03.03.23 weist darauf hin, dass sowohl für beide Straßenbreiten die V_{85} -Werte des Richtlinienentwurf unter jenen der Messungen liegen. Ein deutlicher Unterschied liegt für den ersten Streckenabschnitt mit einer Fahrbahnbreite $> 6,0$ m vor. Hier liegen alle Einzelmesswerte über jenen in [7]. Abhängig vom Radius treten Unterschiede der V_{85} -Geschwindigkeiten von bis zu 15 km/h auf. Ein Großteil der Messdaten des zweiten Abschnitt ($B < 6,0$ m) liegt ebenfalls über der Treppelinie. Der Unterschied zu den Werten aus der Überarbeitungsversion der RVS ist für diesen Abschnitt geringer.

Abbildung 49 veranschaulicht somit, dass die Projektierungsgeschwindigkeiten der aktuellen Überarbeitungsversion der RVS 03.03.23 bei einer Fahrbahnbreite $< 6,0$ m relativ gut mit den V_{85} -Werten aus den Testfahrten übereinstimmt. Hier sind die Werte des Entwurfs im Mittel nur geringfügig niedriger. Für größere Fahrbahnbreiten liegen die Werte aus dem Richtlinienentwurf deutlich unter den Messdaten. Somit wäre ein Ansatz, die Projektierungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von Fahrbahnbreiten zu definieren (ähnlich wie in der RAS-L), als durchaus positiv zu bewerten.

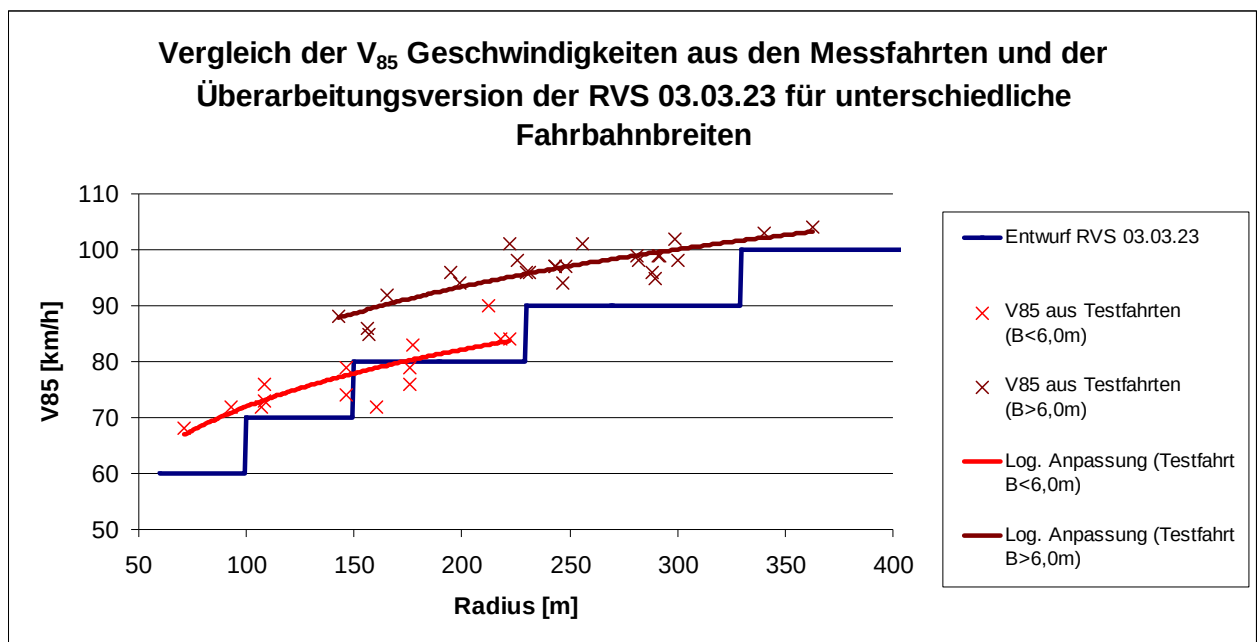


Abbildung 49: Vergleich der V_{85} aus Messdaten und der Überarbeitungsversion der RVS 03.03.23 für unterschiedliche Fahrbahnbreiten

8 Zusammenfassung

8.1 Problemstellung und Zielsetzung

In dieser Arbeit wird untersucht, welche Beschleunigungswerte (Querbeschleunigung) in Abhängigkeit vom Kurvenradius auftreten. Weiters werden mögliche alters- und geschlechtsspezifische Unterschiede im Fahrverhalten auf einer definierten Teststrecke herausgearbeitet und analysiert.

Die Projektierungsgeschwindigkeit ist als wichtige Planungsgröße für die Bestimmung anderer Streckenparameter bei der Planung von Straßen notwendig und findet sich deshalb in vielen Richtlinien und Vorschriften zur Trassierung von Straßen wieder. In der aktuellen Überarbeitungsversion der österreichischen Richtlinie für das Straßenwesen – Linienführung (RVS 03.03.23) wird die Projektierungsgeschwindigkeit anhand älterer Berechnungsmodelle und durch Vergleiche mit einschlägigen Richtlinien Frankreichs, der Schweiz und Deutschlands abgeschätzt. Es hat durch die Analyse der Messfahrten in der vorliegenden Masterarbeit eine Gegenüberstellung der in den Richtlinien vorgeschlagenen Werte mit den gemessenen Werten stattgefunden.

Ziel der vorliegenden Masterarbeit ist es, unter Zuhilfenahme der von AIT entwickelten Mess- und Softwaretools, Fahrzeugdaten dahingehend zu analysieren, ob es einen Zusammenhang zwischen ausgewählten Personengruppen und deren Fahrverhalten gibt, bzw. festzustellen welche Beschleunigungswerte in Querrichtung im Zuge von Kurvenfahrten auftreten.

Dafür werden für jede Personengruppe Testfahrten bei definierten Rahmenbedingungen durchgeführt. Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, wird im Vorhinein eine abwechslungsreiche Versuchsstrecke (Variationen von Kurvenradien und Geraden) festgelegt, die mit allen Personengruppen befahren wird. Mittels GPS-Daten werden den einzelnen Streckenabschnitten (Kurven, Geraden, Kreuzungen) Geschwindigkeits- und Beschleunigungswerte zugeordnet. Anschließend wird darauf aufbauend untersucht, wie die akzeptierten Querbeschleunigungen und die gefahrene Geschwindigkeit von der Straßengeometrie und von den Personengruppen abhängig sind.

Weiters werden die Projektierungsgeschwindigkeiten (V_{85}) für einzelne Kurvenradien ermittelt und mit den vorgeschlagenen Werten der V_{85} -Geschwindigkeiten aus österreichischen und deutschen Richtlinien verglichen und interpretiert.

8.2 Erkenntnisse aus der Literaturrecherche

Relevante Ergebnisse für die vorliegende Arbeit sind:

- Theoretisch sind Querbeschleunigungen bei trockener Fahrbahn (maximalem Haftbeiwert) von der 1,0 bis 1,1 fachen Erdbeschleunigung ($9,8 \text{ m/s}^2$ bis $10,8 \text{ m/s}^2$) möglich
- Gemessene Querbeschleunigungswerte liegen deutlich unter den theoretischen Werten; Maximalwerte zwischen $7,0$ und $8,0 \text{ m/s}^2$
- Die größten Querbeschleunigungswerte wurden bei kleinen Radien gemessen

- Anpassung der Geschwindigkeit erfolgt bei kleinen Radien anhand der komfortablen Querschleunigung; bei großen Radien anhand der komfortablen Fahrgeschwindigkeit
- Aufgrund zu kleiner Probandengrößen konnte nur bei einer Studie ein signifikanter Unterschied im Fahrstil zwischen Männern und Frauen festgestellt werden
- Untersuchungen bezüglich altersmäßiger Unterschiede im Fahrstil wurden bislang nicht durchgeführt
- Messungen erfolgten durch Fahrten mit demselben Testfahrzeug; die eigenen Kfz der Probanden kamen nicht zur Verwendung

8.3 Versuchsdurchführung

Wahl der Probanden

Für die Testfahrten wurden Personen aus dem Bekannten- und Freundeskreis des Autors als Probanden rekrutiert. Dies brachte einige wesentliche Vorteile:

- Hohe Bereitschaft, an den Testfahrten unentgeltlich teilzunehmen
- Einfache Terminkoordinierung
- Entspannte Atmosphäre während der Testfahrten
- Bekanntheit der Teststrecke für alle Probanden annähernd gleich

Für die erste Fragestellung wurden drei Altersklassen pro Geschlecht mit je sechs Probanden gewählt. Dies ergibt eine notwendige Gesamtanzahl von 36 Probanden. Die Altersklassen reichen von 17 – 25 Jahren, 26 – 45 Jahren und 46 – 65 Jahren.

Für den zweiten Teil dieser Arbeit, den Berechnungen der V_{85} -Geschwindigkeiten, musste eine repräsentative Stichprobe aus der österreichischen Bevölkerung gezogen werden. Die Anpassung erfolgte anhand der altersmäßigen Verteilung der Fahrleistung. Da die 36 Probanden für den ersten Teil der Auswertung eine unzureichende Anpassung an diese Verteilungen dargestellt hätten, wurde der Stichprobenumfang um vier zusätzliche Personen erweitert (Einbeziehung der Altersklasse +65).

Demnach ergibt sich für den zweiten Teil eine Gesamtprobandenzahl von 40 Personen.

Wahl der Teststrecke

Bei der Wahl der Teststrecke wurden geeignete Streckenabschnitte möglichst nahe der Wohnorte der Probanden gewählt.

Dies brachte die Vorteile, dass eine in der Nähe befindliche Teststrecke die Anfahrtszeit zur Strecke verringerte und somit den Zeitaufwand für die Probanden erheblich reduzierte. Dadurch wurde auch die Bereitschaft, an den Testfahrten teilzunehmen, gesteigert.

Ein weiterer positiver Effekt ist die Tatsache, dass die Straßenabschnitte in der näheren Umgebung der Wohnorte der Probanden für alle Testfahrer annähernd gleich bekannt bzw. unbekannt waren. Dies reduzierte den Störeffekt des

Bekanntheitsgrades der Strecke. Zusammenfassend wurden folgende Anforderungen an die Teststrecke gestellt:

- Nähe zu den meisten Probanden (Zeitaufwand, Bekanntheitsgrad)
- Große Anzahl an verschiedenen Kurvenradien
- Mindestfahrbahnbreite von 6,0 m
- Großteils ohne Geschwindigkeitsbeschränkungen
- Kleine Längsneigungen

Unter Berücksichtigung dieser Anforderungen an die Teststrecke wurde das Straßennetz südwestlich von St.Pölten, Niederösterreich, zuerst anhand von Straßenkarten auf geeignete Abschnitte geprüft. Danach erfolgte eine Befahrung und Begutachtung der vorab ausgewählten Streckenabschnitte.

Die gewählte Teststrecke befindet sich südwestlich von St.Pölten, Niederösterreich, und verläuft von 3200 Obergrafendorf über 3233 Kilb zum Kreuzungsbereich der L5236 mit der B39.

8.4 Erkenntnisse und Schlussfolgerungen

Die Auswertung der Testfahrten erfolgt zum einen rechnerisch, mittels SPSS 15 und zum anderen graphisch, mittels Microsoft Excel.

Die Auswertungen der Kovarianzanalyse mittels SPSS 15 zeigen bei der Untersuchung von alters- und geschlechtsspezifischen Unterschieden der akzeptierten Querbeschleunigung bzw. der gemessenen Geschwindigkeiten folgende Ergebnisse:

- hoch signifikante Unterschiede zwischen Männern und Frauen (Männer erzielen höhere Querbeschleunigungen und Geschwindigkeiten)
- signifikante Unterschiede zwischen den Altersgruppen (die mittlere Altersgruppe wies die größten Querbeschleunigungen und Geschwindigkeiten auf)
- Männliche Probanden: Altersgruppe „Mittel“ erzielte höchste Werte
- Weibliche Probanden: Altersgruppe „Jung“ erzielte höchste Werte

Um die Größe des Einflusses verschiedener Faktoren (Alter, Geschlecht, Radius und Motorleistung) auf die Zufallsvariablen (Geschwindigkeit und Querbeschleunigung) wurde eine multiple lineare Regressionsanalyse durchgeführt.

Dabei ist ersichtlich, dass der Kurvenradius und das Geschlecht den größten Einfluss bei der Bestimmung der Variablen haben und am meisten zur Varianzerklärung beitragen. Bei steigendem Kurvenradius verringert sich die Querbeschleunigung, im Gegensatz dazu erhöht sich die Geschwindigkeit. Das Geschlecht Männlich erhöht die Werte beider Variablen im Vergleich zum Geschlecht Weiblich. Den Prädiktoren der Motorleistung und des Alters wird ein geringerer Einfluss zugeschrieben. Bei zunehmender Motorleistung erhöhen sich sowohl die Querbeschleunigung, wie auch die Geschwindigkeit. Die Variablen verringern sich mit wachsendem Alter der Probanden.

Die lineare Abhängigkeit stellt sich für den Faktor des Alters als eher ungeeignet heraus, da die Ergebnisse der Kovarianzanalyse bei der mittleren Altersgruppe die höchsten Querbeschleunigungs- und Geschwindigkeitswerte zeigen. Der Ansatz

eines verkehrt U-förmigen Verlaufs für den Einfluss des Alters würde sich als besser erweisen.

Das lineare Regressionsmodell für die Querschleunigung lautet:

$$a_{\text{quer}} = 2,588 - 0,005 * A + 0,319 * G - 0,004 * R + 0,004 * M$$

a_{quer} in m/s^2

Dadurch lassen sich rd. 35% der Varianz der Messwerte erklären.

Das lineare Regressionsmodell für die Geschwindigkeit lautet:

$$V = 44,751 - 0,033 * A + 6,380 * G + 0,105 * R + 0,058 * M$$

V in km/h

Hierbei lassen sich rd. 56% der Varianz der Messwerte erklären.

Die Auswertungen für die Geschwindigkeit zeigen eine höhere erklärbare Varianz und höhere Bestimmtheitsmaße bei den Anpassungskurven. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass bei der Korrelation Radius zu Geschwindigkeit stärker ist als jene zwischen Radius und Querschleunigung. Beim Zustandekommen der Querschleunigungswerte spielen neben dem Radius noch andere Faktoren (Lenkmanöver, Fahrlinie) eine wesentliche Rolle und somit erhöht sich die Varianz der Messwerte.

Graphische Auswertungen bezüglich gemessener Querschleunigung

Die Ergebnisse zeigen, dass die höchsten Querschleunigungen bei kleinen Kurvenradien erzielt werden. Die Streubreite der Messwerte ist aufgrund unterschiedlicher Fahrstile und Lenkmanöver sehr groß. Eine logarithmische Anpassung an die Einzelmesswerte ergibt das beste Ergebnis (größtes Bestimmtheitsmaß).

Die graphische Auswertung zeigt auch deutliche Unterschiede der gemessenen Querschleunigung zwischen Männern und Frauen. Im Mittel traten bei den männlichen Probanden um rd. $0,4 \text{ m/s}^2$ höhere Querschleunigungen auf als bei den weiblichen Testpersonen. Dabei weisen die Fahrten der männlichen Probanden eine größere Streuung als jene der weiblichen Probanden auf.

Die in der Literatur angeführten maximalen Querschleunigungen von $7,0$ bis $8,0 \text{ m/s}^2$ [20] wurden bei den Testfahrten nicht erreicht. Unter der Vorgabe der „normalen“ Fahrt wurden maximale Querschleunigungen von rd. $5,0 \text{ m/s}^2$ gemessen.

Die Einteilung in zwei Fahrstile (Schnell und Langsam) erfolgte unabhängig von Geschlecht und Alter rein nach den mittleren Querschleunigungen. Dabei wurden jeweils 15% der höchsten bzw. niedrigsten Werte für die beiden Fahrstile herangezogen. Die mittleren Querschleunigungen der Fahrstile unterscheiden sich jeweils um rd. $1,1 \text{ m/s}^2$. Der schnelle Fahrstil wird hauptsächlich von männlichen Probanden des mittleren Alters gebildet. Der Fahrstil Langsam beinhaltet hauptsächlich Messwerte weiblicher Probanden.

Graphische Auswertungen bezüglich gemessener Geschwindigkeiten

Die graphische Auswertung der gemessenen Geschwindigkeiten wurde analog jener für die Querschleunigung ausgeführt. Eine logarithmische Regressions-

kurve zeigt auch für die Geschwindigkeit die beste Anpassung an die Einzelwerte, die ebenfalls eine hohe Streubreite pro Kurvenradius aufweisen.

Die männlichen Probanden wählten im Mittel eine um rd. 7,5 km/h höhere Fahrgeschwindigkeit als die weiblichen Probanden.

Die beiden eingeteilten Fahrstile (Schnell, Langsam) unterscheiden sich um rd. 20 km/h voneinander. Dabei wird ähnlich wie bei den Ergebnissen aus der Querschleunigung der schnelle Fahrstil hauptsächlich von Männern gebildet. Der Fahrstil Langsam wird vorwiegend von Frauen besetzt.

Vergleich der Daten aus den Testfahrten mit Lasermessungen

Die Kontrolle der Messwerte aus den Testfahrten mittels Lasermessungen bei acht ausgewählten Kurven zeigt eine hohe Übereinstimmung der Daten. Demnach ist nicht mit einer Beeinflussung des Fahrstils anhand des Wissens der Probanden, dass es sich um eine Testfahrt handelt, zu rechnen.

Vergleiche der ermittelten V_{85} -Geschwindigkeiten mit Richtlinien und Studien aus der Literatur

Die ermittelten V_{85} -Geschwindigkeiten liegen im Durchschnitt deutlich über den Projektierungsgeschwindigkeiten der Überarbeitungsversion der österreichischen Richtlinie RVS 03.03.23. Durch den treppenartigen Verlauf der Projektierungsgeschwindigkeit laut Richtlinie ergeben sich Unterschiede zu den Messwerten von rund 10 bis max. 15 km/h. Als mögliche Ursache für die deutlichen Unterschiede kann der unterschiedliche Straßenzustand angesehen werden. Den angeführten V_{85} -Werten der Überarbeitungsversion der RVS liegt ein nasser, sauberer Straßenzustand zugrunde. Die niedrigeren Projektierungsgeschwindigkeiten in [7] bedingen ebenfalls geringere Werte für die notwendigen Sichtweiten bei der Planung von Straßen. Dem ersten Anschein nach ist die Überarbeitungsversion der österreichischen RVS demnach eher auf der „unsicheren Seite“ zu sehen. Weitere Untersuchungen bzw. Messungen auf nasser Fahrbahn sind nötig, damit festgestellt wird, ob die V_{85} -Geschwindigkeiten sich deutlich von jenen in der vorliegenden Arbeit (trockene Fahrbahn) unterscheiden. Die Überarbeitungsversion der RVS 03.03.23 geht bei der Ermittlung der erforderlichen Sichtweiten von einer Bremsverzögerung von 5 m/s^2 auf nasser Fahrbahn aus. Diese Bremsverzögerung kann bei trockener Fahrbahn deutlich überschritten werden. Bei einer durchschnittlichen Fahrbahngriffigkeit bzw. schlechten Fahrzeugreifen ist allerdings das Erreichen einer Bremsverzögerung von 5 m/s^2 auf nasser Fahrbahn fraglich und die erforderlichen Sichtweiten wären für solche Fahrzeuge noch höher.

Weiters zeigen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit in Kapitel 7.5, dass die Fahrbahnbreite und der Bekanntheitsgrad der Strecke die Wahl der Fahrgeschwindigkeit deutlich beeinflussen. Für Fahrbahnbreiten $> 6,5 \text{ m}$ zeigt der Vergleich der Messdaten mit den Werten aus dem Richtlinienentwurf maximale Unterschiede von bis zu 15 km/h. Somit wäre ein Ansatz, die Projektierungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von Fahrbahnbreiten zu definieren, als durchaus positiv zu bewerten. Der momentane Entwurf sieht sowohl für breite Landesstraßen, wie auf für schmale Verbindungsstraßen dieselben V_{85} -Geschwindigkeiten und somit dieselben erforderlichen Sichtweiten vor.

Die deutsche Richtlinie RAS – L sieht neben der Bestimmung anhand der Kurvigkeit für ganze Streckenabschnitte, eine Bestimmung der Projektierungsgeschwindigkeit für Einzelkurven in Abhängigkeit von der Straßenbreite und des

Radius vor. Der Vergleich der Messwerte aus der vorliegenden Masterarbeit mit jenen der RAS-L ergibt durchwegs eine gute Übereinstimmung. Sowohl für Fahrbahnbreiten $< 6,5$ m, sowie für Breiten $> 6,5$ m stimmten die Projektierungsgeschwindigkeiten aus den Testfahrten mit jenen der RAS – L gut überein.

Der Vergleich der V_{85} -Werte aus den Testfahrten mit jenen aus Berechnungsmodellen internationaler Studien zeigt für die logarithmische Anpassung, dass sich diese grundsätzlich im „Mittelfeld“ der verglichenen Verläufe befindet. Dies zeigt, dass die bestimmten V_{85} -Geschwindigkeiten in der vorliegenden Arbeit nicht überhöht sind.

Vergleich der Streckenabschnitte 1 und 2

Die Teststrecke unterteilt sich in zwei Abschnitte mit unterschiedlicher Fahrbahnbreite und Bekanntheitsgrad bei den Probanden. Der Vergleich der gemessenen Geschwindigkeiten für identisch große Radien zeigt Unterschiede von rund 10 km/h zwischen den Messungen der beiden Streckenabschnitte. Die mittlere Querbeschleunigung liegt beim zweiten Streckenabschnitt rund $0,8 \text{ m/s}^2$ unter jener des ersten Abschnittes.

Diese Ergebnisse zeigen einen starken Einfluss der Fahrbahnbreite und des Bekanntheitsgrades auf die Wahl der Geschwindigkeit.

9 Quellenverzeichnis

- [1] ADAC, Entwicklung der Fahrleistung; Internetquelle, abgerufen unter http://www.adac.de/_mm/pdf/1_3_entwicklung_der_fahrleistungen_42789.pdf, am 28.03.2011
- [2] Bartl G., Hager B., Unfallursachenanalyse bei PKW-Lenkern; Institut Gute Fahrt, Forschungsprojekt in Kooperation mit der Bundesanstalt für Verkehr, Wien, 2006
- [3] Castro M., Sanchez J. F., Ardila N., Melo J., Speed Models for Highway Consistency Analysis. A Colombian Case Study; 4th International Symposium on Highway Geometric Design. Valencia, 2010
- [4] Dezhao Z., Qing Xiao, Meng L., Driver Spezific Acc Speed Profile For Curved Roads; 2010
- [5] Elsner F., Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows – Grundlegende Konzepte und Techniken; Universität Osnabrück, Rechenzentrum, 2009
- [6] Felipe E., Navin F., Automobiles on Horizontal Curves – Experiments and Observations; Transportation Research Record 1628, Paper No.98-0482; 1998
- [7] Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), RVS 03.03.23 – Richtlinie und Vorschriften für das Straßenwesen – Linienführung; Überarbeitungsversion 14. Mai 2011
- [8] Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), RVS 03.03.23 – Die neuen österreichischen Richtlinien für Linienführung von Straßen – Grundlagen und Erläuterungen; 1983
- [9] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), RAS – L Richtlinien für die Anlage von Straßen – Linienführung; 1995
- [10] Hoffmann M., Entwurfparameter & Fahrdynamik – Stochastische Entscheidungsparameter für die Straßenplanung im Lebenszyklus; Technische Universität Wien, 2010
- [11] Kistler Instrument Corporation, 8393A K-Beam Triaxial Capacitive Accelerometers; Produktbeschreibung
- [12] Lippold C., Zur Geschwindigkeit V_{85} als Projektierungsgröße im Straßenentwurf; Straßenverkehrstechnik 1, 1999
- [13] Maurer P., Meissner M., Fuchs M., Gruber J., Foissner P., Straßenzustandserfassung mit dem RoadSTAR; Research Report – Arsenal Research, 2002
- [14] Maurer P., Aspekte der Fahrbahngriffigkeit und ihr Einfluss auf erreichbare Pkw-Bremsverzögerungen; BMVIT – Straßenforschung, Heft 564, 2007
- [15] Mischke M., Wallentowitz H., Dynamik der Kraftfahrzeuge; 4. Auflage, Springer Verlage, 2003

- [16] Neukum A., Krüger H.-P., Schuller J., Der Fahrer als Messinstrument für fahrdynamische Eigenschaften; VDI Bericht Nr. 1613, 2001
- [17] Odhams A. M. C., Identification of Driver Steering and Speed Control; Dissertation at the University of Cambridge; 2006
- [18] Odhams A. M. C., Cole D. J., Models of Driver Speed Choice in Curves; University of Cambridge, 2004
- [19] Rasch D., Verdooren L. R., Gowers J. I., Planung und Auswertung von Versuchen und Erhebungen; R. Oldenbourg Verlag München Wien, 2007
- [20] Reymond G., Kemeny A., Droulez J., Berthoz A., Role of Lateral Acceleration in Curve Driving: Driver Model and Experiments on a Real Vehicle and a Driving Simulator; Human Factors 43; 2001
- [21] Ritchie M. L., McCoy W. K., Welde W. L., A Study of the Relation between Forward Velocity and Lateral Acceleration in Curves During Normal Driving; Human Factors 10, 255 – 258; 1968
- [22] RoyalTek Company Ltd., RoyalTek Bluetooth GPS Receiver RBT – 2001; User Manual Version 1.0, 2005
- [23] Statistik Austria, Bevölkerung zu Jahresbeginn seit 2002 nach fünfjährigen Altersgruppen und Geschlecht; abgerufen unter:
http://www.statistik.at/web_de/statistiken/bevoelkerung/bevoelkerungsstruktur/bevoelkerung_nach_alter_geschlecht/index.html, am 18.01.2011
- [24] TranSafety Inc., Canadian Researchers Test Driver Response to Horizontal Drive Curves; Road Management & Engineering Journal, 1998

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kraftschluss - Schlupf Kurve (Quelle: [15])	4
Abbildung 2: Grenzgeschwindigkeiten für verschiedene Radien (Quelle: [10])	6
Abbildung 3: Skizze der auftretenden Kräfte bei konstanter Kurvenfahrt	6
Abbildung 5: Übersicht der Literatur (Quelle: aus [17])	8
Abbildung 6: Schema von Ritchie (Quelle [21])	9
Abbildung 7: Korrelation: Geschwindigkeit mit Querb beschleunigung für 4 Radien (Quelle: [6])	10
Abbildung 8: Korrelation: Geschwindigkeit mit der Querb beschleunigung (Quelle [20])	11
Abbildung 9: Ermittlung der V_{85} nach der Überarbeitungsversion der RVS 03.03.23 (Quelle: [7])	13
Abbildung 10: Graphische Auswertung der V_{85} für einzelne Radien (Quelle: [9]) ...	14
Abbildung 11: Anpassung der Probanden an die Fahrleistungen (Daten laut ADAC aus [1])	21
Abbildung 12: Vergleich der Ausbildungsstrukturen (Daten für Österreich aus [23])	22
Abbildung 13: Bekanntheitsgrad der Teststreckenabschnitte	22
Abbildung 14: Übersichtskarte mit eingezeichneter Lage der Teststrecke (Quelle: google maps)	23
Abbildung 15: Satellitenbild mit Verlauf und Einteilung der Teststrecke (Satellitenbild aus google maps)	24
Abbildung 16: Übersicht der Situierung der einzelnen Kurven (Satellitenbild aus google maps)	27
Abbildung 17: Übersichtskarte der Kontrollmessungen (Luftbild aus google maps)	33
Abbildung 18: Benutzeroberfläche des Geometry Classifier (Quelle: AIT)	34
Abbildung 19: Daten aus Fragebögen und Fahrtenprotokollen	35
Abbildung 20: Streckengraph aus Messdaten und Kurvensegmente aus RoadSTAR Daten	37
Abbildung 21: Optischer Vergleich anhand der gemessenen Querb beschleunigungen beispielsweise für 3 Probanden	38
Abbildung 22: Optischer Vergleich anhand der gemessenen Geschwindigkeiten beispielsweise für 3 Probanden	39
Abbildung 23: Ermittlung der mittleren Querb beschleunigungen und Geschwindigkeiten	40
Abbildung 24: Vergleich der Querb beschleunigungen aus Regressionsmodell und den Testfahrten	45
Abbildung 25: Differenzen der Querb beschleunigungen aus Testfahrten und Regressionsmodell	46

Abbildung 26: Messwerte der Querbesehleunigung pro Radius.....	47
Abbildung 27: Geschlechtsspezifische Unterschiede der gemessenen Querbesehleunigung	48
Abbildung 28: Streuung der Messwerte unterschieden nach dem Geschlecht.....	49
Abbildung 29: Altersspezifische Unterschiede der akzeptierten Querbesehleunigung	50
Abbildung 30: Unterscheidung der Fahrstile Schnell u. Langsam anhand der Querbesehleunigung	51
Abbildung 31: Vergleich der Geschwindigkeiten aus Regressionsmodell und den Testfahrten	55
Abbildung 32: Differenzen der Geschwindigkeiten aus Regressionsmodell und Testfahrten	56
Abbildung 33: Messwerte der Geschwindigkeit pro Radius.....	57
Abbildung 34: Geschlechtsspezifische Unterschiede der gemessenen Geschwindigkeiten	57
Abbildung 35: Streuung der Messwerte unterschieden nach dem Geschlecht.....	58
Abbildung 36: Altersspezifische Unterschiede der gemessenen Geschwindigkeiten	59
Abbildung 37: Unterscheidung zweier Fahrstile anhand der gemessenen Geschwindigkeit	61
Abbildung 38: Vergleich: Lasermessungen mit Messungen aus Testfahrten anhand von 8 Kurven	63
Abbildung 39: Vergleich der Streuung der Lasermessung mit Messungen aus Testfahrten	64
Abbildung 40: Vergleich der ermittelten V_{85} -Werte mit der Überarbeitungsversion der RVS 03.03.23.....	66
Abbildung 41: Vergleich der gemessenen V_{85} -Werte mit RAS – L für Fahrbahnbreiten $< 6,5\text{ m}$	67
Abbildung 42: Vergleich der gemessenen V_{85} -Werte mit RAS – L für Fahrbahnbreiten $> 6,5\text{ m}$	67
Abbildung 43: : Vergleich der gemessenen V_{85} -Werte mit internationalen Berechnungsmodellen.....	69
Abbildung 44: Mittels V_{85} -Geschwindigkeiten berechnete Querbesehleunigungen	70
Abbildung 45: Vergleich der Streckenabschnitte anhand der Geschwindigkeit bei $R = 160\text{ m}$	71
Abbildung 46: Vergleich der Streckenabschnitte anhand der Querbesehleunigung bei $R = 160\text{ m}$	72
Abbildung 47: Vergleich der Streckenabschnitte anhand der Geschwindigkeit bei $R = 220\text{ m}$	72
Abbildung 48: Vergleich der Streckenabschnitte anhand der Querbesehleunigung bei $R = 220\text{ m}$	72

<i>Abbildung 49: Vergleich der V_{85} aus Messdaten und der Überarbeitungsversion der RVS 03.03.23 für unterschiedliche Fahrbahnbreiten</i>	73
--	----

11 Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Übersicht der verwendeten Abkürzungen</i>	3
<i>Tabelle 2: Übersicht von Modellen zur Berechnung der V_{85} (Quelle:[3])</i>	15
<i>Tabelle 3: Übersicht der Kurvenradien für die Streckenteile bzw. Einteilung in Radienklassen</i>	26
<i>Tabelle 4: Deskriptive Statistik - Überblick</i>	42
<i>Tabelle 5: Ergebnis der Kovarianzanalyse</i>	43
<i>Tabelle 6: Ergebnisse des Post-Hoc Tests bezüglich Altersgruppen</i>	43
<i>Tabelle 7: Ergebnisse aus der Regressionsanalyse</i>	44
<i>Tabelle 8: Zusammensetzung der Gruppen des Fahrstils</i>	51
<i>Tabelle 9: Deskriptive Auswertung der Kovarianzanalyse hinsichtlich der Geschwindigkeit</i>	52
<i>Tabelle 10: Ergebnisse Kovarianzanalyse hinsichtlich Geschwindigkeit</i>	53
<i>Tabelle 11: Ergebnisse aus der Regressionsanalyse für die Geschwindigkeit</i>	54
<i>Tabelle 12: Zusammensetzung der Gruppen des Fahrstils hinsichtlich der Geschwindigkeit</i>	60
<i>Tabelle 13: Gegenüberstellung von Lasermessung und Werten aus der Testfahrt</i> 63	
<i>Tabelle 14: V_{85} Ermittlung für verschiedene Radienklassen (Quelle: [7])</i>	64
<i>Tabelle 15: Zusammenfassung der verglichenen V_{85}-Werte</i>	68
<i>Tabelle 16: Vergleich berechneter Querbeschleunigungen für Testfahrt und Überarbeitungsversion der RVS 03.03.23</i>	70

12 Fotoverzeichnis

<i>Foto 1: Beschleunigungssensor mit Magnetplatte</i>	28
<i>Foto 2: GPS Maus der Firma RoyalTek</i>	29
<i>Foto 3: Laserpistole LR90-235/P, Seitenansicht und Display</i>	30
<i>Foto 4: Platzierung des Beschleunigungssensors; Benutzeroberfläche des DataLoggers</i>	31

13 Anhang

1. Fragebogen
2. Fahrtenprotokoll
3. SPSS: Kovarianzanalyse für die Querschleunigung
4. SPSS: Kovarianzanalyse für die Geschwindigkeit
5. SPSS: Regressionsanalyse für die Querschleunigung
6. SPSS: Regressionsanalyse für die Geschwindigkeit

Fragebogen:

Anmerkung:

In diesem Fragebogen geht es unter anderem darum, eine Selbsteinschätzung des eigenen Fahrverhaltens und Fahrkönnens abzugeben. Dazu sei angemerkt, dass versucht wird, „gute Fahrer und schlechte Fahrer“ herauszufiltern, sondern vielmehr die Datenauswertung der Testfahrt zu verfeinern.

VOR- und ZUNAME:		GEBURTSDATUM:			
GESCHLECHT:		Besitz des Führerscheins seit (Jahren):			
☐ männlich ☐ weiblich					
1. Ich benutze einen PKW (Fahrtdauer über 10 Minuten) etwa					
☐ täglich ☐ 5x / Woche ☐ 3x / Woche ☐ 1x / Woche					
2. Meine Fahrten werden hauptsächlich auf den selben Strecken zurückgelegt.	trifft sehr zu ☐	trifft größtenteils zu ☐	trifft teilweise zu ☐	trifft nicht zu ☐	
3. Ich würde mich selbst als sehr erfahrenen Fahrer bezeichnen.	trifft sehr zu ☐	trifft größtenteils zu ☐	trifft teilweise zu ☐	trifft nicht zu ☐	
4. Ich würde mich selbst als sehr sicheren Fahrer bezeichnen. (stets „kontrollierte Fahrweise“)	trifft sehr zu ☐	trifft größtenteils zu ☐	trifft teilweise zu ☐	trifft nicht zu ☐	
5. Ich würde mich selbst als sehr aktiven Fahrer bezeichnen. (aktive – passive Fahrweise)	trifft sehr zu ☐	trifft größtenteils zu ☐	trifft teilweise zu ☐	trifft nicht zu ☐	
6. Ich richte mein Fahrverhalten bewusst nach den Straßenverhältnissen aus.	trifft sehr zu ☐	trifft größtenteils zu ☐	trifft teilweise zu ☐	trifft nicht zu ☐	
7. Mein Fahrverhalten ist je nach Gemütslage unterschiedlich.	trifft sehr zu ☐	trifft größtenteils zu ☐	trifft teilweise zu ☐	trifft nicht zu ☐	
8. Mein Fahrverhalten hat sich mit der Zeit verändert.	trifft sehr zu ☐	trifft größtenteils zu ☐	trifft teilweise zu ☐	trifft nicht zu ☐	
9. Ich benutze fast immer den selben PKW .	trifft sehr zu ☐	trifft größtenteils zu ☐	trifft teilweise zu ☐	trifft nicht zu ☐	
10. Bei mir unbekannten Strecken fahre ich deutlich vorsichtiger.	trifft sehr zu ☐	trifft größtenteils zu ☐	trifft teilweise zu ☐	trifft nicht zu ☐	

Fahrprotokoll:

Testfahrt

Name:	PKW: (Diesel-Benzin; PS; Marke)
Zustand Fahrer:	Altersgruppe:
Witterung:	Ungestörte Fahrt: (wenn nein – s. Bemerkungen) ☐ Ja ☐ Nein
Fahrtbeginn:	Fahrtende:

Kommentar des Fahrers zu seiner Fahrt:	Fahrtstrecke unbekannt?
--	-------------------------

Sonstige Bemerkungen:

Kovarianzanalyse: Querbeschleunigung

Univariate Varianzanalyse

Anmerkungen

Ausgabe erstellt		16-JAN-2011 19:55:58
Kommentare		
Eingabe	Daten	\\tsclient\D\Testdaten\Raster - SPSS.sav
	Arbeitsdatei	DatenSet1
	Filter	<keine>
	Gewichtung	<keine>
	Aufgeteilte Datei	<keine>
	Anzahl der Zeilen in der Arbeitsdatei	1440
Verarbeitung fehlender Werte	Definition von fehlend	Benutzerdefinierte fehlende Werte ^gelten als fehlend.
	Verwendete Fälle	Die Statistik basiert auf allen Fällen mit gültigen Daten für alle Variablen im Modell.
Syntax		UNIANOVA a_quer BY Geschlecht Altersgruppe WITH Kurve /METHOD = SSTYPE(3) /INTERCEPT = INCLUDE /PRINT = DESCRIPTIVE /CRITERIA = ALPHA(.05) /DESIGN = Kurve Geschlecht Altersgruppe Geschlecht*Altersgruppe .
Ressourcen	Prozessorzeit	0:00:00,09
	Verstrichene Zeit	0:00:01,06

Zwischensubjektfaktoren

		N
Geschlecht	1	674
	2	674
Altersgruppe	1	446
	2	447
	3	455

Deskriptive Statistiken

Abhängige Variable: a_quer

Geschlecht	Altersgruppe	Mittelwert	Standardabweichung	N
1	1	2,3420	,69714	220
	2	2,2708	,58397	226
	3	2,1004	,53477	228
	Gesamt	2,2364	,61558	674
2	1	2,5668	,62125	226
	2	2,6738	,69334	221
	3	2,6209	,62522	227
	Gesamt	2,6201	,64757	674
Gesamt	1	2,4559	,66857	446
	2	2,4700	,67071	447
	3	2,3601	,63677	455
	Gesamt	2,4282	,66006	1348

Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: a_quer

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	108,114(a)	6	18,019	50,472	,000
Konstanter Term	1380,944	1	1380,944	3868,111	,000
Kurve	50,277	1	50,277	140,830	,000
Geschlecht	50,953	1	50,953	142,722	,000
Altersgruppe	3,497	2	1,749	4,898	,008
Geschlecht * Altersgruppe	4,847	2	2,424	6,788	,001
Fehler	478,747	1341	,357		
Gesamt	8535,089	1348			
Korrigierte Gesamtvariation	586,861	1347			

a R-Quadrat = ,184 (korrigiertes R-Quadrat = ,181)

Post – Hoc Test Altersgruppen

Univariate Varianzanalyse

Ausgabe erstellt		17-JAN-2011 18:19:25
Kommentare		
Eingabe	Daten	\\tsclient\D\Testdaten\Raster - SPSS.sav
	Arbeitsdatei	DatenSet1
	Filter	<keine>
	Gewichtung	<keine>
	Aufgeteilte Datei	<keine>
	Anzahl der Zeilen in der Arbeitsdatei	1440
Verarbeitung fehlender Werte	Definition von fehlend	Benutzerdefinierte fehlende Werte ^gelten als fehlend.
	Verwendete Fälle	Die Statistik basiert auf allen Fällen mit gültigen Daten für alle Variablen im Modell.
Syntax		UNIANOVA a_quer BY Altersgruppe Geschlecht /METHOD = SSTYPE(3) /INTERCEPT = INCLUDE /POSTHOC = Altersgruppe (TUKEY) /PRINT = DESCRIPTIVE /CRITERIA = ALPHA(.05) /DESIGN = Altersgruppe Geschlecht Altersgruppe*Geschlecht .

Zwischensubjektfaktoren

	N
Altersgruppe 1	446
2	447
3	455
Geschlecht 1	674
2	674

Deskriptive Statistiken

Abhängige Variable: a_quer

Altersgruppe	Geschlecht	Mittelwert	Standard-abweichung	N
1	1	2,3420	,69714	220
	2	2,5668	,62125	226
	Gesamt	2,4559	,66857	446
2	1	2,2708	,58397	226
	2	2,6738	,69334	221
	Gesamt	2,4700	,67071	447
3	1	2,1004	,53477	228
	2	2,6209	,62522	227
	Gesamt	2,3601	,63677	455
Gesamt	1	2,2364	,61558	674
	2	2,6201	,64757	674
	Gesamt	2,4282	,66006	1348

Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: a_quer

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	57,837(a)	5	11,567	29,343	,000
Konstanter Term	7952,429	1	7952,429	20173,291	,000
Altersgruppe	3,250	2	1,625	4,123	,016
Geschlecht	49,364	1	49,364	125,224	,000
Altersgruppe * Geschlecht	4,989	2	2,494	6,328	,002
Fehler	529,024	1342	,394		
Gesamt	8535,089	1348			
Korrigierte Gesamtvariation	586,861	1347			

a R-Quadrat = ,099 (korrigiertes R-Quadrat = ,095)

Post-Hoc-Tests**Mehrfachvergleiche**

Abhängige Variable: a_quer

Tukey-HSD

		Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz	95% Konfidenzintervall	
(I) Altersgruppe	(J) Altersgruppe				Obergrenze	Untergrenze
1	2	-,0141	,04202	,940	-,1127	,0845
	3	,0958	,04184	,057	-,0023	,1940
2	1	,0141	,04202	,940	-,0845	,1127
	3	,1100(*)	,04181	,023	,0119	,2081
3	1	-,0958	,04184	,057	-,1940	,0023
	2	-,1100(*)	,04181	,023	-,2081	-,0119

Basiert auf beobachteten Mittelwerten.

* Die mittlere Differenz ist auf der Stufe ,05 signifikant.

Homogene Untergruppen

Tukey-HSD

Altersgruppe	N	Untergruppe	
		2	1
3	455	2,3601	
1	446	2,4559	2,4559
2	447		2,4700
Signifikanz		,058	,939

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = ,394".

a Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 449,297

b Die Größen der Gruppen ist ungleich. Es wird das harmonische Mittel der Größe der Gruppen verwendet. Fehlerniveaus für Typ I werden nicht garantiert.

c Alpha = ,05

Post – Hoc Test Altersgruppe WEIBLICH

Univariate Varianzanalyse

Anmerkungen

Ausgabe erstellt		17-JAN-2011 18:44:25
Kommentare		
Eingabe	Arbeitsdatei	DatenSet1
	Filter	<keine>
	Gewichtung	<keine>
	Aufgeteilte Datei	<keine>
	Anzahl der Zeilen in der Arbeitsdatei	720
Verarbeitung fehlender Werte	Definition von fehlend	Benutzerdefinierte fehlende Werte ^gelten als fehlend.
	Verwendete Fälle	Die Statistik basiert auf allen Fällen mit gültigen Daten für alle Variablen im Modell.
Syntax		UNIANOVA a_quer BY Altersgruppe /METHOD = SSTYPE(3) /INTERCEPT = INCLUDE /POSTHOC = Altersgruppe (TUKEY) /CRITERIA = ALPHA(.05) /DESIGN = Altersgruppe .
Ressourcen	Prozessorzeit	0:00:00,06
	Verstrichene Zeit	0:00:00,09

Zwischensubjektfaktoren

	N
Altersgruppe 1	220
2	226
3	228

Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: a_quer

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	6,941(a)	2	3,470	9,387	,000
Konstanter Term	3374,190	1	3374,190	9126,322	,000
Altersgruppe	6,941	2	3,470	9,387	,000
Fehler	248,083	671	,370		
Gesamt	3625,963	674			
Korrigierte Gesamtvariation	255,023	673			

a R-Quadrat = ,027 (korrigiertes R-Quadrat = ,024)

Post-Hoc-Tests

Mehrfachvergleiche

Abhängige Variable: a_quer
Tukey-HSD

(I) Altersgruppe	(J) Altersgruppe	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz	95% Konfidenzintervall	
					Obergrenze	Untergrenze
1	2	,0712	,05759	,432	-,0641	,2065
	3	,2416(*)	,05746	,000	,1067	,3766
2	1	-,0712	,05759	,432	-,2065	,0641
	3	,1704(*)	,05707	,008	,0364	,3045
3	1	-,2416(*)	,05746	,000	-,3766	-,1067
	2	-,1704(*)	,05707	,008	-,3045	-,0364

Basiert auf beobachteten Mittelwerten.

* Die mittlere Differenz ist auf der Stufe ,05 signifikant.

Homogene Untergruppen

a_quer

Tukey-HSD

Altersgruppe	N	Untergruppe	
		2	1
3	228	2,1004	
2	226		2,2708
1	220		2,3420
Signifikanz		1,000	,429

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = ,370".

a Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 224,615

b Die Größen der Gruppen ist ungleich. Es wird das harmonische Mittel der Größe der Gruppen verwendet.
Fehlerniveaus für Typ I werden nicht garantiert.

c Alpha = ,05

Post – Hoc Altersgruppe MÄNNLICH

Univariate Varianzanalyse

Anmerkungen

Ausgabe erstellt		17-JAN-2011 18:48:45
Kommentare		
Eingabe	Arbeitsdatei	DatenSet1
	Filter	<keine>
	Gewichtung	<keine>
	Aufgeteilte Datei	<keine>
	Anzahl der Zeilen in der Arbeitsdatei	720
Verarbeitung fehlender Werte	Definition von fehlend	Benutzerdefinierte fehlende Werte ^gelten als fehlend.
	Verwendete Fälle	Die Statistik basiert auf allen Fällen mit gültigen Daten für alle Variablen im Modell.
Syntax		UNIANOVA a_quer BY Altersgruppe /METHOD = SSTYPE(3) /INTERCEPT = INCLUDE /POSTHOC = Altersgruppe (TUKEY) /CRITERIA = ALPHA(.05) /DESIGN = Altersgruppe .
Ressourcen	Prozessorzeit	0:00:00,00
	Verstrichene Zeit	0:00:00,02

Zwischensubjektfaktoren

	N
Altersgruppe 1	226
2	221
3	227

Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: a_quer

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	1,279(a)	2	,640	1,528	,218
Konstanter Term	4627,662	1	4627,662	11052,689	,000
Altersgruppe	1,279	2	,640	1,528	,218
Fehler	280,942	671	,419		
Gesamt	4909,125	674			
Korrigierte Gesamtvariation	282,221	673			

a R-Quadrat = ,005 (korrigiertes R-Quadrat = ,002)

Post-Hoc-Tests

Mehrfachvergleiche

Abhängige Variable: a_quer
Tukey-HSD

(I) Altersgruppe	(J) Altersgruppe	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz	95% Konfidenzintervall	
					Obergrenze	Untergrenze
1	2	-,1070	,06121	,188	-,2508	,0368
	3	-,0542	,06080	,646	-,1970	,0887
2	1	,1070	,06121	,188	-,0368	,2508
	3	,0528	,06115	,663	-,0908	,1965
3	1	,0542	,06080	,646	-,0887	,1970
	2	-,0528	,06115	,663	-,1965	,0908

Basiert auf beobachteten Mittelwerten.

Homogene Untergruppen

a_quer

Tukey-HSD

Altersgruppe	N	Untergruppe
		1
1	226	2,5668
3	227	2,6209
2	221	2,6738
Signifikanz		,187

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = ,419".

a Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 224,636

b Die Größen der Gruppen ist ungleich. Es wird das harmonische Mittel der Größe der Gruppen verwendet.

Fehlerniveaus für Typ I werden nicht garantiert.

c Alpha = ,05

Kovarianzanalyse: Geschwindigkeit

Univariate Varianzanalyse

Anmerkungen

Ausgabe erstellt		22-FEB-2011 16:06:43
Kommentare		
Eingabe	Daten	\\tsclient\D\Testdaten\Raster - SPSS.sav
	Arbeitsdatei	DatenSet1
	Filter	<keine>
	Gewichtung	<keine>
	Aufgeteilte Datei	<keine>
	Anzahl der Zeilen in der Arbeitsdatei	1440
Verarbeitung fehlender Werte	Definition von fehlend	Benutzerdefinierte fehlende Werte ^gelten als fehlend.
	Verwendete Fälle	Die Statistik basiert auf allen Fällen mit gültigen Daten für alle Variablen im Modell.
Syntax		UNIANOVA v BY Geschlecht Altersgruppe WITH Kurve /METHOD = SSTYPE(3) /INTERCEPT = INCLUDE /PRINT = DESCRIPTIVE /CRITERIA = ALPHA(.05) /DESIGN = Kurve Geschlecht Altersgruppe Geschlecht*Altersgruppe .
Ressourcen	Prozessorzeit	0:00:00,06
	Verstrichene Zeit	0:00:01,06

[DatenSet1] \\tsclient\D\Testdaten\Raster - SPSS.sav

Zwischensubjektfaktoren

		N
Geschlecht	1	674
	2	674
Altersgruppe	1	446
	2	447
	3	455

Deskriptive Statistiken

Abhängige Variable: v

Geschlecht	Altersgruppe	Mittelwert	Standard- abweichung	N
1	1	79,9048	12,90030	220
	2	78,8388	11,42142	226
	3	77,3141	11,84953	228
	Gesamt	78,6710	12,09367	674
2	1	83,8651	12,11834	226
	2	88,6712	12,80803	221
	3	86,2683	12,64027	227
	Gesamt	86,2504	12,65750	674
Gesamt	1	81,9116	12,65232	446
	2	83,7000	13,07474	447
	3	81,7813	13,03190	455
	Gesamt	82,4607	12,94192	1348

Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: v

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	121019,169(a)	6	20169,861	258,597	,000
Konstanter Term	3049013,460	1	3049013,460	39091,333	,000
Kurve	98317,364	1	98317,364	1260,525	,000
Geschlecht	17999,381	1	17999,381	230,770	,000
Altersgruppe	832,598	2	416,299	5,337	,005
Geschlecht * Altersgruppe	2280,538	2	1140,269	14,619	,000
Fehler	104594,208	1341	77,997		
Gesamt	9391694,966	1348			
Korrigierte Gesamtvariation	225613,377	1347			

a R-Quadrat = ,536 (korrigiertes R-Quadrat = ,534)

Post – Hoc Altersgruppe

Univariate Varianzanalyse

Ausgabe erstellt		11-APR-2011 10:36:01
Kommentare		
Eingabe	Daten	\\tsclient\D\Testdaten\Raster - SPSS.sav
	Arbeitsdatei	DatenSet1
	Filter	<keine>
	Gewichtung	<keine>
	Aufgeteilte Datei	<keine>
	Anzahl der Zeilen in der Arbeitsdatei	1440
Verarbeitung fehlender Werte	Definition von fehlend	Benutzerdefinierte fehlende Werte ^gelten als fehlend.
	Verwendete Fälle	Die Statistik basiert auf allen Fällen mit gültigen Daten für alle Variablen im Modell.
Syntax		UNIANOVA v BY Altersgruppe /METHOD = SSTYPE(3) /INTERCEPT = INCLUDE /POSTHOC = Altersgruppe (TUKEY) /PRINT = DESCRIPTIVE /CRITERIA = ALPHA(.05) /DESIGN = Altersgruppe .
Ressourcen	Prozessorzeit	0:00:00,09
	Verstrichene Zeit	0:00:00,91

Zwischensubjektfaktoren

	N
Altersgruppe 1	446
2	447
3	455

Deskriptive Statistiken

Abhängige Variable: v

Altersgruppe	Mittelwert	Standard-abweichung	N
1	81,9116	12,65232	446
2	83,7000	13,07474	447
3	81,7813	13,03190	455
Gesamt	82,4607	12,94192	1348

Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: v

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	1031,053(a)	2	515,527	3,087	,046
Konstanter Term	9166159,433	1	9166159,433	54895,168	,000
Altersgruppe	1031,053	2	515,527	3,087	,046
Fehler	224582,323	1345	166,976		
Gesamt	9391694,966	1348			
Korrigierte Gesamtvariation	225613,377	1347			

a R-Quadrat = ,005 (korrigiertes R-Quadrat = ,003)

Post-Hoc-Tests

Abhängige Variable: v

Tukey-HSD

		Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz	95% Konfidenzintervall	
(I) Altersgruppe	(J) Altersgruppe				Obergrenze	Untergrenze
1	2	-1,7885	,86483	,097	-3,8176	,2407
	3	,1302	,86103	,987	-1,8900	2,1505
2	1	1,7885	,86483	,097	-,2407	3,8176
	3	1,9187	,86054	,067	-,1004	3,9378
3	1	-,1302	,86103	,987	-2,1505	1,8900
	2	-1,9187	,86054	,067	-3,9378	-,1004

Basiert auf beobachteten Mittelwerten.

Homogene Untergruppen

v

Tukey-HSD

Altersgruppe	N	Untergruppe
		1
3	455	81,7813
1	446	81,9116
2	447	83,7000
Signifikanz		,067

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = 166,976".

a Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 449,297

b Die Größen der Gruppen ist ungleich. Es wird das harmonische Mittel der Größe der Gruppen verwendet. Fehlerniveaus für Typ I werden nicht garantiert.

c Alpha = ,05

Post – Hoc Altersgruppe WEIBLICH

Univariate Varianzanalyse

Anmerkungen

Ausgabe erstellt		22-FEB-2011 16:21:39
Kommentare		
Eingabe	Daten	\\tsclient\D\Testdaten\DAMEN.sav
	Arbeitsdatei	DatenSet1
	Filter	<keine>
	Gewichtung	<keine>
	Aufgeteilte Datei	<keine>
	Anzahl der Zeilen in der Arbeitsdatei	720
Verarbeitung fehlender Werte	Definition von fehlend	Benutzerdefinierte fehlende Werte ^gelten als fehlend.
	Verwendete Fälle	Die Statistik basiert auf allen Fällen mit gültigen Daten für alle Variablen im Modell.
Syntax		UNIANOVA v BY Altersgruppe /METHOD = SSTYPE(3) /INTERCEPT = INCLUDE /POSTHOC = Altersgruppe (TUKEY) /PRINT = DESCRIPTIVE /CRITERIA = ALPHA(.05) /DESIGN = Altersgruppe .
Ressourcen	Prozessorzeit	0:00:00,08
	Verstrichene Zeit	0:00:00,63

[DatenSet1] \\tsclient\D\Testdaten\DAMEN.sav

Zwischensubjektfaktoren

	N
Altersgruppe 1	220
2	226
3	228

Deskriptive Statistiken

Abhängige Variable: v

Altersgruppe	Mittelwert	Standard-abweichung	N
1	79,9048	12,90030	220
2	78,8388	11,42142	226
3	77,3141	11,84953	228
Gesamt	78,6710	12,09367	674

Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: v

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	761,068(a)	2	380,534	2,614	,074
Konstanter Term	4172089,583	1	4172089,583	28662,605	,000
Altersgruppe	761,068	2	380,534	2,614	,074
Fehler	97669,842	671	145,559		
Gesamt	4269901,052	674			
Korrigierte Gesamtvariation	98430,910	673			

a R-Quadrat = ,008 (korrigiertes R-Quadrat = ,005)

Post-Hoc-Tests**Mehrfachvergleiche**

Abhängige Variable: v

Tukey-HSD

		Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz	95% Konfidenzintervall	
(I) Altersgruppe	(J) Altersgruppe				Obergrenze	Untergrenze
1	2	1,0660	1,14267	,620	-1,6181	3,7500
	3	2,5907	1,14020	,060	-,0875	5,2690
2	1	-1,0660	1,14267	,620	-3,7500	1,6181
	3	1,5248	1,13247	,370	-1,1353	4,1848
3	1	-2,5907	1,14020	,060	-5,2690	,0875
	2	-1,5248	1,13247	,370	-4,1848	1,1353

Basiert auf beobachteten Mittelwerten.

Homogene Untergruppen

v

Tukey-HSD

Altersgruppe	N	Untergruppe
		1
3	228	77,3141
2	226	78,8388
1	220	79,9048
Signifikanz		,060

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = 145,559".

a Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 224,615

b Die Größen der Gruppen ist ungleich. Es wird das harmonische Mittel der Größe der Gruppen verwendet.

Fehlerniveaus für Typ I werden nicht garantiert.

c Alpha = ,05

Post – Hoc Altersgruppe MÄNNLICH

Univariate Varianzanalyse

Anmerkungen

Ausgabe erstellt		22-FEB-2011 16:30:44
Kommentare		
Eingabe	Daten	\\tsclient\D\Testdaten\Herren.sav
	Arbeitsdatei	DatenSet1
	Filter	<keine>
	Gewichtung	<keine>
	Aufgeteilte Datei	<keine>
	Anzahl der Zeilen in der Arbeitsdatei	720
Verarbeitung fehlender Werte	Definition von fehlend	Benutzerdefinierte fehlende Werte ^gelten als fehlend.
	Verwendete Fälle	Die Statistik basiert auf allen Fällen mit gültigen Daten für alle Variablen im Modell.
Syntax		UNIANOVA v BY Altersgruppe /METHOD = SSTYPE(3) /INTERCEPT = INCLUDE /POSTHOC = Altersgruppe (TUKEY) /CRITERIA = ALPHA(.05) /DESIGN = Altersgruppe .
Ressourcen	Prozessorzeit	0:00:00,08
	Verstrichene Zeit	0:00:01,49

Zwischensubjektfaktoren

	N
Altersgruppe 1	226
2	221
3	227

Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: v

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	2581,105(a)	2	1290,553	8,228	,000
Konstanter Term	5015354,207	1	5015354,207	31976,885	,000
Altersgruppe	2581,105	2	1290,553	8,228	,000
Fehler	105241,731	671	156,843		
Gesamt	5121793,913	674			
Korrigierte Gesamtvariation	107822,836	673			

a R-Quadrat = ,024 (korrigiertes R-Quadrat = ,021)

Post-Hoc-Tests**Mehrfachvergleiche**

Abhängige Variable: v

Tukey-HSD

		Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz	95% Konfidenzintervall	
(I) Altersgruppe	(J) Altersgruppe				Obergrenze	Untergrenze
1	2	-4,8061(*)	1,18478	,000	-7,5891	-2,0232
	3	-2,4032	1,17683	,103	-5,1675	,3611
2	1	4,8061(*)	1,18478	,000	2,0232	7,5891
	3	2,4029	1,18348	,106	-,3770	5,1828
3	1	2,4032	1,17683	,103	-,3611	5,1675
	2	-2,4029	1,18348	,106	-5,1828	-,3770

Basiert auf beobachteten Mittelwerten.

* Die mittlere Differenz ist auf der Stufe ,05 signifikant.

Homogene Untergruppen

Tukey-HSD

Altersgruppe	N	Untergruppe	
		2	1
1	226	83,8651	
3	227	86,2683	86,2683
2	221		88,6712
Signifikanz		,105	,105

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = 156,843".

a Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 224,636

b Die Größen der Gruppen ist ungleich. Es wird das harmonische Mittel der Größe der Gruppen verwendet. Fehlerniveaus für Typ I werden nicht garantiert.

c Alpha = ,05

Regressionsanalyse: Querbeschleunigung

Deskriptive Statistiken

	Mittelwert	Standardabweichung	N
a_quer	2,4282	,66006	1348
Altersgruppe	35,52	13,644	1348
Geschlecht	1,50	,500	1348
PS	97,61	23,152	1348
Radius	224,10	83,931	1348

Modellzusammenfassung(b)

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
1	,591(a)	,349	,347	,53322

a Einflußvariablen : (Konstante), Radius, PS, Altersgruppe, Geschlecht

b Abhängige Variable: a_quer

ANOVA(b)

Modell		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
1	Regression	205,020	4	51,255	180,272	,000(a)
	Residuen	381,841	1343	,284		
	Gesamt	586,861	1347			

a Einflußvariablen : (Konstante), Radius, PS, Altersgruppe, Geschlecht

b Abhängige Variable: a_quer

Koeffizienten(a)

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
		B	Standardfehler	Beta		
1	(Konstante)	2,588	,081		32,058	,000
	Altersgruppe	-,005	,001	-,111	-4,936	,000
	Geschlecht	,319	,032	,242	9,968	,000
	PS	,004	,001	,150	6,055	,000
	Radius	-,004	,000	-,490	-22,271	,000

a Abhängige Variable: a_quer

Regressionsanalyse: Geschwindigkeit

Modellzusammenfassung

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
1	,750(a)	,562	,561	8,57536

a Einflußvariablen : (Konstante), Radius, PS, Altersgruppe, Geschlecht

ANOVA(b)

Modell		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
1	Regression	126853,382	4	31713,345	431,258	,000(a)
	Residuen	98759,995	1343	73,537		
	Gesamt	225613,377	1347			

a Einflußvariablen : (Konstante), Radius, PS, Altersgruppe, Geschlecht

b Abhängige Variable: v

Koeffizienten(a)

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
		B	Standardfehler	Beta		
1	(Konstante)	44,751	1,298		34,473	,000
	Geschlecht	6,380	,515	,247	12,384	,000
	PS	,058	,011	,104	5,140	,000
	Altersgruppe	-,033	,018	-,035	-1,897	,058
	Radius	,105	,003	,684	37,879	,000

a Abhängige Variable: v