

Beschreibung von Bewegungscharakteristika im PKW Verkehr mittels GPS und Beschleunigungssensoren

Verfasser:

Stefan Höfler
Bakk. techn.

Masterarbeit für das Fachgebiet
VERKEHRSWESEN

Betreuung:

Michael Meschik
Ass. Prof. DI Dr.

Birgit Kohla
DI



The logo of the Institute for Transport Science (Ve) features a stylized 'V' and 'e' in a bold, sans-serif font. The 'V' is white with a black outline, and the 'e' is solid black. Below the logo, the text 'Institut für Verkehrswesen' is written in a smaller, sans-serif font. Below that, the text 'Department für Raum, Landschaft und Infrastruktur' and 'Universität für Bodenkultur Wien' are written in a larger, bold, sans-serif font.
Institut für Verkehrswesen
Department für Raum, Landschaft und Infrastruktur
Universität für Bodenkultur Wien

Ehrenwörtliche Erklärung:

Ich versichere, dass ich die eingereichte Masterarbeit selbstständig und ohne unerlaubte Hilfsmittel verfasst habe. Es wurden keine weiteren Quellen benutzt, außer jenen, welche im Quellenverzeichnis aufgelistet sind. Diese Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland als wissenschaftliche Arbeit vorgelegt.

Wien, März 2012

Kurzfassung:

In dieser Arbeit werden Bewegungscharakteristika im PKW- Verkehr untersucht. Um diese Charakteristika erkennen zu können, wurde ein GPS- Gerät mit eingebauten Beschleunigungssensoren zu Hilfe genommen. Parallel zu dieser Arbeit gab es noch weitere Arbeiten, welche sich mit den Bewegungscharakteristika von Fahrrädern, Fußgängern und öffentlichen Verkehrsmitteln beschäftigten. Der Hintergrund dieser Arbeiten ist, dass in Zukunft bei Mobilitätshebungen auf handschriftliche Erhebungsbögen verzichtet werden kann, und stattdessen die Versuchspersonen eines dieser kleinen GPS- Geräte mitführen werden.

Um die Bewegungscharakteristika im Pkw-Verkehr beschreiben und erkennen zu können, wurde während der Versuche/-Fahrten ein GPS-Gerät der Fa. MGE-Data aus Prag mitgeführt, welches auch die Beschleunigungswerte in drei Richtungen erfasst. Das Gerät wurde im Pkw so fixiert, dass die Achsen des Gerätes weitgehend den Fahrzeugachsen (längs, quer und hoch) entsprechen. So wurden auch die auf das Fahrzeug wirkenden Beschleunigungen in und quer zur Fahrtrichtung erfasst. Die Beschleunigungen in Fahrzeughochrichtung (annähernd in der Vertikalen) ergaben keine wesentlichen für die Bewegung des Fahrzeugs auswertbaren Ergebnisse. Um die Beschleunigungen auch interpretieren und charakterisieren zu können wurden Versuche mit unterschiedlichsten Fahrmanövern, welche bei einer PKW- Fahrt üblich sind, durchgeführt. Bei diesen Versuchen wurden die auftretenden und erfassten Beschleunigungen des Fahrzeugs nach „in Fahrtrichtung“, „quer zur Fahrtrichtung“ und „hoch zur Fahrtrichtung“ unterteilt.

Mithilfe der während einer Stadtfahrt aufgezeichneten Beschleunigungsdaten wurden statistische Modelle (multinominale Regressionen) erstellt, mit denen es möglich ist, die Fahrmanöver anhand der aufgezeichneten Daten zu erkennen. Als Ergebnis lassen sich durch die Betrachtung der gemessenen Beschleunigungen mittels der Modelle sowohl Brems- als auch Beschleunigungsvorgänge, verzögerungsfreies Dahinrollen und Links- bzw. Rechtskurven während der Fahrt mit einer Erklärungsqualität von etwa 85 % identifizieren. Es konnte gezeigt werden, dass das nach Fahrzeugachsen ausgerichtete Messgerät durch die richtungszuordenbaren Beschleunigungswerte deutlich bessere Modellergebnisse ermöglicht, als ein beliebig im Raum orientiertes Gerät, dessen Beschleunigungsrichtungen praktisch nicht in die Fahrzeugrichtung transformiert werden können und nur als vektoriell resultierende Beschleunigungswerte weiterverwendbar sind. Die Ergebnisse dieser Testfahrten wurden nur mit einem Pkw und einem Fahrer durchgeführt. Für allgemeingültige Modellergebnisse sind weitere Messfahrten mit unterschiedlichsten Fahrzeugen und Fahrern erforderlich.

Abstract:

This paper is about features of movement in private car traffic. In order to measure these features a GPS-device with an integrated acceleration sensor was used. Parallel to this paper there were other papers concerned with acceleration features of bicycles, pedestrians and means of public transport. The ultimate aim of these papers is to facilitate the omission of handwritten data entry forms when carrying out mobility surveys in the future; instead probands should carry around small GPS-devices.

In order to picture the acceleration features in private car traffic there was used a GPS-device of the MGE-Data company from Prague. This device is able to collect acceleration values of three directions. The device was fixed in such a way that its axes were more or less in accordance with the axes of the car. In this way it was possible to monitor the acceleration in and diagonally to the direction of motion. The acceleration in vertical direction did not produce any evaluable results. As to interpret and characterise the acceleration the tests were carried out within common driving manoeuvres. During these tests the acceleration of the car was classified as “in direction of motion”, “diagonally to direction of motion” and “vertical to direction of motion”.

With the collected data of a drive it was possible to develop statistic models (multinomial regressions) with the help of which a recognition of the driving sequences was feasible. As a result one could observe and indentify brake applications, delay free gliding and left respectively right turns during the drive with an explanation quality of approximately 85 %. It could be shown that a measuring instrument which is arranged according to the vehicle axes offers good model results through direction-determinable acceleration value. The instrument in the vehicle offered better results than a measuring device allocated randomly in a room as the direction of acceleration of the latter cannot be transformed in vehicle direction; thus it only produces vectorial acceleration values. The results of these test drives have been carried out with one vehicle and by one driver. For universally valid model results further test drives with different vehicles and drivers are necessary.

INHALTSVERZEICHNIS

Ziel dieser Arbeit	3
1. Allgemeine Grundlagen	4
1.1 Aufnahmegerät – Mobitestet GSL	4
1.2. Versuchsfahrzeug	5
1.3. Geräteanbringung	6
1.4. Messdaten	8
1.5. Allgemeine Fahrdynamik.....	10
1.5.1 Kräfte beim Autofahren	10
1.5.2. ABS und ESP.....	14
2. Fahrversuche	16
2.1. grundlegende Versuche	17
2.1.1 Messgerät in Ruhe und ausgerichtet	17
2.1.2 Messgerät im ruhenden Auto	20
2.2. Versuche zur Längsbeschleunigung	23
2.2.1. Beschleunigung	23
2.1.2. Betriebsbremsung	24
2.2.3 Energisches Beschleunigen auf 100 km/h.....	26
2.2.4. Moderates Beschleunigen.....	27
2.2.5. Vergleich energisches und moderates Beschleunigen	28
2.2.6. Motorbremse	29
2.3. Versuche zur Querschleunigung	31
2.3.1. Kurvenfahrt	31
2.3.2. Kreisverkehr.....	34
2.3.3. Mittelinsel/ Fahrbahnteiler	38
2.3.4. kurviger Landstraßenabschnitt	40
2.4. Versuche zur Vertikalbeschleunigung (Hochbeschleunigung).....	43
2.4.1. Kopfsteinpflaster	43
2.4.2. Autobahn	46
2.4.2.1. Betondecke.....	47
2.4.2.2. Asphaltdecke	48

2.4.3. Straßenbahntrasse mit Betonfahrbahn	53
2.4.4. Überfahren einer Fahrbahnanhebung	57
2.5. Sonstige Versuche	59
2.5.1. Vergleich eines ausgerichteten mit einem ungerichteten Messgerät.....	59
3. Stadtfahrt- Basis für ein Modell	66
3.1 Statistische Auswertungen der Stadtfahrt	71
3.3.1 Statistische Auswertung der Beschleunigung in Längsrichtung.....	71
3.3.2 Statistische Auswertung der Beschleunigung in Querrichtung.....	72
3.3.3 Statistische Auswertung der Beschleunigung in Hochrichtung	73
4. statistisches Berechnungsmodell	75
4.1 Multinominale logistische Regression:	75
4.2 Modell- Daten.....	75
4.3 Modelle.....	78
4.4 Erstellen der Modelle	79
5. Schlussfolgerungen.....	84
Quellen	85
Anhang:	86
Abbildungsverzeichnis:.....	96
Tabellenverzeichnis	99

Ziel dieser Arbeit

Mobilitätsuntersuchungen werden inzwischen zunehmend mittels passiven GPS- tracking durchgeführt. Dabei werden Testpersonen mit einem GPS- Gerät, welches einen dreidimensionalen Beschleunigungssensor eingebaut hat, ausgestattet. Das verwendete Verkehrsmittel nur aus GPS- Bewegungsdaten zu ermitteln unterliegt gewissen Einschränkungen. Deutliche Verbesserungen sind erzielbar, wenn die Beschleunigungsdaten ausgewertet werden. Anhand der Daten welche das GPS- Gerät aufnimmt, soll nun mit einer möglichst hohen Wahrscheinlichkeit die Art der Fortbewegung (Fahrrad, öffentliche Verkehrsmittel, Auto und zu Fuß) erkannt werden. In dieser Arbeit werden die bei der PKW Fahrt unter verschiedensten Bedingungen auftretenden Beschleunigungen kalibriert, und Fahrtcharakteristika abgeleitet.

Mit diesen Beschleunigungswerten wird ein statistisches Modell erstellt, welches in der Lage ist, die verschiedenen Fahrmanöver eines PKW, anhand der dabei vorhandenen Beschleunigungswerte, zu erkennen.

1. Allgemeine Grundlagen

1.1 Aufnahmegerät – Mobitest GSL

Bei dem Aufnahmegerät handelt es sich um ein Datenaufzeichnungsgerät, welches mit einem dreidimensionalen Beschleunigungssensor und einem GPS versehen ist (siehe Abbildung 1). Es zeichnet im Sekundentakt die GPS- Daten auf. Parallel dazu zeichnet der dreidimensionale Beschleunigungssensor die Beschleunigungen mit einer Frequenz von 10 Hertz auf.

Auf dem Aufnahmegerät befinden sich 6 verschiedene Buttons, welche parallel zu den Messvorgängen gedrückt werden können. Jeder Button wirft beim Drücken einen Wert aus, welcher laufend mit der Zeitachse dokumentiert wird. So können zusätzlich zu den laufenden Messungen gewisse Vorgänge (z. B.: Das Anhalten an einer Lichtsignalanlage oder ein Abbiegevorgang) dokumentiert und nachvollzogen werden.

Tabelle 1: Die 6 Knöpfe am Mobitest GSL (Version für Verkehrsmittel und 2 Wegzwecke) und die beim Drücken abgelegten Werte



Button	Zahlenmäßige Kennzeichnung im Messprotokoll
Fußgänger	1
Auto	16
Haus („wohnen“)	2
Fahrrad	4
Bus	32
Industriegebäude („arbeiten“)	8

Abbildung 1: Messgerät Mobitest GSL der Firma MGE Data in Prag

Der Beschleunigungssensor misst in die drei Richtungen der Geräteachse. Die Achsen werden für die nachfolgend beschriebenen Versuche wie folgt angeordnet (Abbildung 2).



Abbildung 2: Messrichtung des Beschleunigungssensors

Bei allen nachfolgenden Versuchen ist die Y- Achse immer in Fahrtrichtung des Autos (*längs*), die X- Achse immer quer zur Fahrtrichtung (*quer*) und die Z- Achse immer in die Hochrichtung (*hoch*).

Je nach Anordnung des Gerätes im Versuchsfahrzeug werden bei der Fahrt beziehungsweise bei Fahrzeugmanövern Beschleunigungen in Richtung der Achsen gemessen. Dazu genaueres im Kapitel 1.3. Geräteanbringung und der Darstellung der einzelnen Versuche.

1.2. Versuchsfahrzeug

Bei dem Versuchsfahrzeug handelt es sich um einen VW- Golf V mit einem 77 kw (105 PS) TDI Motor (siehe Abbildung 3). Das Fahrzeug verfügt über ein Sportfahrwerk, daher kommen gewisse Fahrmanöver deutlicher zur Geltung. Bei einem solchen Sportfahrwerk sind die Stoßdämpfer etwas härter eingestellt als bei der Standardausführung. Wird nun in eine Kurve gefahren, kann man davon ausgehen, dass das einzelne Fahrmanöver intensiver zu spüren ist, als in einem Auto mit handelsüblicher Dämpfung.

Auch durch die Reifenwahl kann das Ergebnis vermutlich geringfügig beeinflusst werden. Umso niedriger die Reifenhöhe (z.B. bei Flachbetteifen) desto deutlicher ist eine Bodenwelle zu spüren. Auch die Querbeschleunigungskräfte nehmen dadurch zu, da sich das gesamte Fahrzeug bei einer Kurvenfahrt wesentlich steifer verhält, als ein Fahrzeug mit normalen

Reifendimensionen. Die Reifendimension, welche am Versuchsfahrzeug angebracht war, ist: 17“ 225/45.

Inwieweit sich die Reifenwahl und das Fahrwerk auf das Ergebnis auswirken, wurde in dieser Arbeit nicht untersucht.



Abbildung 3: Versuchsfahrzeug VW Golf V 77 kW (105 PS) TDI

1.3. Geräteanbringung

Für diese Arbeit wurde eine einfache Geräteanordnung gewählt. Das Messgerät wurde an der Mittelkonsole befestigt, welche in Längsrichtung ausgerichtet ist (Abbildung 4). Es wurde auch darauf geachtet, dass sich das Messgerät *zentral* im Auto befindet, um eine Verfälschung der Messwerte in eine Richtung zu verhindern. Angenommen das Aufnahmegerät befindet sich in nur einer Hälfte des Autos, so würde diese immer in eine Richtung stärker ausschlagen, als in die andere. Der Untergrund auf welchem das Messgerät angebracht wurde, war eben. Bei einer Schiefstellung in die Richtung der Längsachse hätte es die Längsbeschleunigungen (Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge) beziehungsweise bei einer Schiefstellung in Richtung der Querbeschleunigungsachse die Querbeschleunigungen (Rechts- und Linkskurven) verfälscht.

➔ Unterschied zu einer realen Mobilitätserhebung:

Zu beachten ist, dass das Messgerät in realen Mobilitätserhebungen nicht ausgerichtet wird. Ziel der Arbeit ist, erste Hinweise auf die Beschleunigungsverläufe von einem PKW zu

erhalten. Diese Beschleunigungsverläufe sind nicht generell gültig, da jedes Fahrzeug leicht unterschiedliche Beschleunigungswerte aufweist. Auch mit diesem Fahrzeug würden weitere/andere Fahrten andere Beschleunigungen ergeben.

Weiter sollte die Anbringung nachvollziehbar sein, um das Gerät öfter an dieser Stelle anbringen zu können. Der Vorteil liegt darin, dass die einzelnen Fahrmanöver und Versuche untereinander vergleichbar sind.



Abbildung 4: Geräteanordnung im Versuchsauto

Bei den durchgeführten Versuchen wurde das Gerät immer wie oben abgebildet angebracht. Um ein Verrutschen zu verhindern, wurde es mit einem breiten Klebestreifen gesichert. Die positive Y- Richtung befand sich immer in Fahrtrichtung.

1.4. Messdaten

Die im Messgerät gespeicherten Daten werden mittels der von der Firma „MGE Daten“ entwickelten Software heruntergeladen. Man erhält zwei verschiedene Datensätze. Der eine Datensatz (Abbildung 5) enthält Informationen über:

- *GSP Position* (LONG...östliche Längengrade; LAT...nördliche Breitengrade; [°])
- *Seehöhe* (HEIGH...Seehöhe über Nullniveau; [m. ü. NN])
- *Beschleunigungsdaten* (XACC...Beschleunigung in Fahrzeugquerrichtung, YACC...Beschleunigung in Fahrzeugquerrichtung, ZACC...Beschleunigung in Fahrzeughochrichtung; [g]; vergleiche Abbildung 2)
- *Aufnahmedatum* (GPSDATA...Datum: TT.MM.JJJJ)
- *Aufnahmezeit* (GPSTIME...Uhrzeit: h:min:sec)
- *Zeichnet fortlaufend eventuell gedrückte Buttons auf* (BUTT...vergleiche Abbildung 1)

ID	PWR	LONG	LAT	HEIGHT	HMSL	HACC	VACC	FX	GPSDATE	GPSTIME	TDA	TTIM	TMLUIS	SATS	BUTT	VALID	PAIR	DIST	AZIM	TIME	XACC	YACC	ZACC	NOMOVE	BATT	MODIFIED
0	1	16.2195524	48.2600767	499.27	457.02	23.2	16.3	0	10.02.2011	15:18:38	10.02	17:18	0	0	255	False	0	0	0	0	127	122	179	0	162	False
1	1	16.2195524	48.2600767	499.27	457.02	42.1	29.5	0	10.02.2011	15:18:39	10.02	17:18	0	0	0	False	0	0	0	0	127	122	180	1	162	False
2	1	16.2195524	48.2600767	499.27	457.02	62.2	43.3	0	10.02.2011	15:18:40	10.02	17:18	0	0	0	False	0	0	0	0	127	122	180	2	162	False
3	1	16.2195524	48.2600767	499.27	457.02	82.7	57.3	0	10.02.2011	15:18:41	10.02	17:18	0	0	0	False	0	0	0	0	127	122	179	3	162	False
4	1	16.2195524	48.2600767	499.27	457.02	103.5	71.3	0	10.02.2011	15:18:42	10.02	17:18	0	0	0	False	0	0	0	0	127	121	179	4	162	False
5	1	16.2195524	48.2600767	499.27	457.02	124.7	85.4	0	10.02.2011	15:18:43	10.02	17:18	0	0	0	False	0	0	0	0	127	122	179	5	162	False
6	1	16.2195524	48.2600767	499.27	457.02	146	99.5	0	10.02.2011	15:18:44	10.02	17:18	0	0	0	False	0	0	0	0	127	122	179	6	162	False
7	1	16.2195524	48.2600767	499.27	457.02	167.6	113.6	0	10.02.2011	15:18:45	10.02	17:18	0	0	0	False	0	0	0	0	127	121	179	7	162	False
8	1	16.2195524	48.2600767	499.27	457.02	189.4	127.7	0	10.02.2011	15:18:46	10.02	17:18	0	1	0	False	0	0	0	0	127	121	179	8	162	False
9	1	16.2195524	48.2600767	499.27	457.02	211.4	141.9	0	10.02.2011	15:18:47	10.02	17:18	0	1	0	False	0	0	0	0	127	121	178	9	162	False
10	1	16.2195524	48.2600767	499.27	457.02	233.7	156	0	10.02.2011	15:18:48	10.02	17:18	0	1	0	False	0	0	0	0	127	122	179	10	162	False
11	1	16.2195524	48.2600767	499.27	457.02	256.1	170.2	0	10.02.2011	15:18:49	10.02	17:18	0	1	0	False	0	0	0	0	127	121	180	11	162	False
12	1	16.2195524	48.2600767	499.27	457.02	278.8	184.3	0	10.02.2011	15:18:50	10.02	17:18	0	1	0	False	0	0	0	0	127	121	180	12	162	False
13	2	16.31425	48.2712214	499.27	457.1	11395.1	13.8	0	10.02.2011	15:18:49	10.02	17:18	912	3	0	False	0	0	0	0	127	122	179	13	162	False
14	2	16.3142523	48.2712235	499.27	457.1	11395.4	13.9	0	10.02.2011	15:18:50	10.02	17:18	0	3	0	False	0	0	0	0	127	122	180	14	162	False
15	2	16.3142778	48.2712293	499.27	457.1	11397.6	14	0	10.02.2011	15:18:51	10.02	17:18	0	3	0	False	0	0	0	0	127	122	180	15	162	False
16	2	16.3142905	48.2712344	499.27	457.1	11360	13.9	0	10.02.2011	15:18:52	10.02	17:18	0	3	0	False	0	0	0	0	127	122	179	16	162	False
17	2	16.3143003	48.2712423	499.27	457.1	11362.4	13.9	0	10.02.2011	15:18:53	10.02	17:18	0	3	0	False	0	0	0	0	127	122	179	17	162	False
18	2	16.3228702	48.241768	499.27	457.12	5967	13.8	0	10.02.2011	15:18:54	10.02	17:18	0	4	0	False	0	0	0	0	127	122	179	18	161	False
19	2	16.3228697	48.2417496	499.27	457.13	5968.7	13.8	0	10.02.2011	15:18:55	10.02	17:18	0	4	0	False	0	0	0	0	127	122	179	19	162	False
20	2	16.3229195	48.2417351	499.27	457.13	5970.2	13.8	0	10.02.2011	15:18:56	10.02	17:18	0	4	0	False	0	0	0	0	127	122	180	20	162	False
21	2	16.3201016	48.2389459	346.38	304.23	3851.5	9083.3	0	10.02.2011	15:18:57	10.02	17:18	0	5	0	False	0	0	0	0	127	121	180	21	162	False
22	2	16.3201154	48.2389292	352.72	310.57	3852.1	9082.1	0	10.02.2011	15:18:58	10.02	17:18	0	5	0	False	0	0	0	0	127	121	180	22	161	False
23	2	16.3200916	48.2389364	352.64	310.49	3852.9	9081.1	0	10.02.2011	15:18:59	10.02	17:18	0	5	0	False	0	0	0	0	127	121	180	23	162	False
24	2	16.3200954	48.2389557	353.77	311.62	3853.4	9080	0	10.02.2011	15:19:00	10.02	17:18	0	5	0	False	0	0	0	0	127	121	179	24	162	False
25	2	16.3242379	48.2418904	1208.1	1166.95	3182.4	7978.5	0	10.02.2011	15:19:01	10.02	17:19	0	5	0	False	0	0	0	0	127	122	180	25	162	False
26	2	16.3243079	48.2418351	1173.19	1131.05	3174.9	7934.1	0	10.02.2011	15:19:02	10.02	17:19	0	6	0	False	0	0	0	0	127	122	179	26	161	False
27	2	16.3242535	48.2414978	1170.24	1128.1	3174.9	7933.6	0	10.02.2011	15:19:03	10.02	17:19	0	6	0	False	0	0	0	0	127	122	179	27	161	False
28	2	16.3242675	48.2414436	1158.27	1116.13	3174.6	7933	0	10.02.2011	15:19:04	10.02	17:19	0	6	0	False	0	0	0	0	127	122	179	28	161	False
29	2	16.3242861	48.2414532	1156.58	1114.43	3174.6	7932.5	0	10.02.2011	15:19:05	10.02	17:19	0	6	0	False	0	0	0	0	127	122	179	29	162	False
30	2	16.3242379	48.2414468	1158.88	1116.74	3174.3	7931.9	0	10.02.2011	15:19:06	10.02	17:19	0	6	0	False	0	0	0	0	127	122	179	30	162	False
31	2	16.3159198	48.2427306	499.27	457.12	54.4	13.8	2	10.02.2011	15:19:06	10.02	17:19	500	3	0	False	0	0	0	0	127	122	179	31	162	False
32	2	16.3159174	48.2427135	499.35	457.2	31.1	12.7	2	10.02.2011	15:19:07	10.02	17:19	0	3	0	False	0	0	0	0	127	122	179	32	162	False
33	2	16.3159195	48.2427117	499.28	457.13	27.2	9.3	2	10.02.2011	15:19:08	10.02	17:19	0	3	0	False	0	0	0	0	127	121	180	33	162	False
34	2	16.315918	48.2427171	499.27	457.12	24.3	7.7	2	10.02.2011	15:19:09	10.02	17:19	0	3	0	False	0	0	0	0	127	121	179	34	162	False
35	2	16.3159219	48.2427222	499.26	457.11	22.7	6.8	2	10.02.2011	15:19:10	10.02	17:19	0	3	0	False	0	0	0	0	127	122	180	35	162	False
36	2	16.3159228	48.2427272	499.26	457.11	21.6	6.1	2	10.02.2011	15:19:11	10.02	17:19	0	3	0	False	0	0	0	0	127	121	180	36	162	False
37	2	16.3159209	48.2427308	499.25	457.1	21.2	5.6	2	10.02.2011	15:19:12	10.02	17:19	0	3	0	False	0	0	0	0	127	122	180	37	162	False
38	2	16.3157066	48.2423292	468.65	426.49	24.2	18.6	3	10.02.2011	15:19:13	10.02	17:19	0	4	0	False	0	0	0	0	127	122	180	38	162	False
39	2	16.3156707	48.2422674	461.95	419.8	18.7	17.1	3	10.02.2011	15:19:14	10.02	17:19	0	4	0	False	0	0	0	0	127	121	180	39	162	False
40	2	16.3155639	48.2422457	457.75	415.59	15.8	16.4	3	10.02.2011	15:19:15	10.02	17:19	0	4	0	False	0	0	0	0	127	122	179	40	162	False

Abbildung 5: Datensatz mit Informationen über GPS- Daten, Seehöhe, Aufnahmezeit, Aufnahmedatum, eventuell gedrückte Buttons

Die Software bietet die Möglichkeit, die erhobenen GPS- Daten mit einer Google- Maps Karte darzustellen (Abbildung 6). Die Daten dieses Datensatzes werden im Sekundentakt aufgezeichnet.

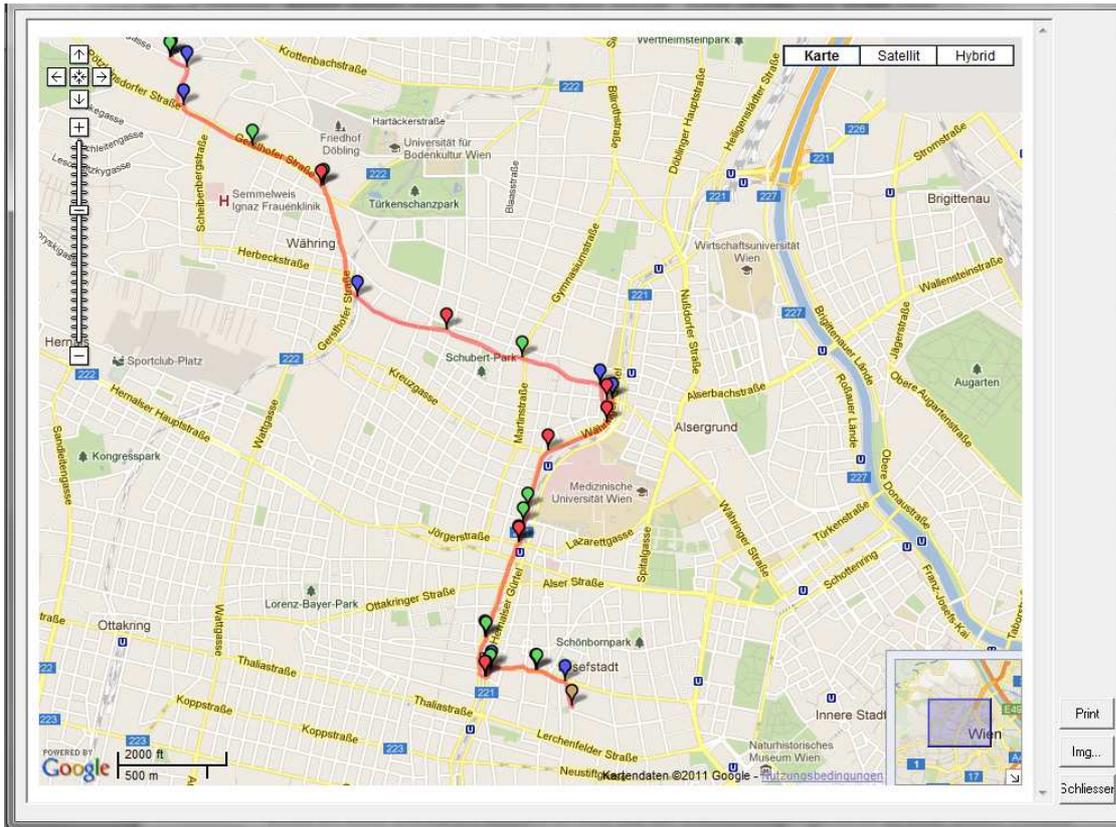


Abbildung 6: Mobitest- Daten, dargestellt in Google Map View; an den gekennzeichneten Stellen, wurde ein gewisser Button (vergleiche Abbildung 1 und Tabelle 1) gedrückt

Beim anderen Datensatz handelt es sich nur um die Beschleunigungsdaten. Diese werden in Zehntelsekunden aufgezeichnet (Abbildung 7).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	ID	XACC	YACC	ZACC						
2	1	127	122	179						
3	1	127	122	179						
4	1	127	122	179						
5	1	127	122	179						
6	1	127	122	179						
7	1	127	122	179						
8	1	127	122	179						
9	1	127	122	179						
10	1	127	122	179						
11	1	127	122	179						
12	2	127	122	179						
13	2	127	122	179						
14	2	127	122	180						

Abbildung 7: Beschleunigungswerte (ID....fortlaufende Zeit in Sekunden; XACC....Beschleunigung in die Querrichtung; YACC....Beschleunigung in die Längsrichtung; ZACC....Beschleunigung in die Fahrzeughochrichtung)

Um das Ergebnis in m/s^2 zu erhalten, müssen die Werte wie folgt umgerechnet werden (nach Wally o. J.):

➔ *Beschleunigung quer zur Fahrtrichtung $[m/s^2]$* (1)

Beschleunigung quer $[m/s^2] = ((XACC - a) * 9,81/b) * -1$

➔ *Beschleunigung in Fahrtrichtung (Längsrichtung) $[m/s^2]$* (2)

Beschleunigung längs $[m/s^2] = ((YACC - a) * 9,81/b) * -1$

➔ *Beschleunigung in Hochrichtung $[m/s^2]$* (3)

Beschleunigung hoch $[m/s^2] = (ZACC - a) * 9,81/b$

Dabei ist:

a..... 127,554 []

b..... 51,886 []

a, b..... dimensionslose Parameter

XACC, YACC, ZACC..... Beschleunigungswerte von Mobitest GSL []

9,81..... Erdbeschleunigung $[m/s^2]$

Die Beschleunigungen in Längs- und Querrichtung wurden mit -1 multipliziert, um bei Beschleunigungen und Rechtskurven positive Werte und bei Verzögerungen und Linkskurven negative Werte zu erhalten.

1.5. Allgemeine Fahrdynamik

Die Informationen zu Kapitel 1.5 Allgemeine Fahrdynamik wurden zu einem Großteil aus Wikipedia.org am 19.11.2011 entnommen.

1.5.1 Kräfte beim Autofahren

Kräfte zwischen Reifen und Fahrbahn

Bei Kraftfahrzeugen wird der Kontakt zwischen Fahrzeug und Fahrbahn nur durch mehrere etwa handtellergröße Flächen vermittelt. Die Kraftentstehung in diesen Kontaktflächen ist somit für die Fahrdynamik von besonderem Interesse.

Die einfachste Modellvorstellung ist der *Kammsche Kreis*. Dieser besagt, dass die Gesamtkraft aus Seitenkraft und Umfangskraft einen Maximalwert nicht übersteigen kann.



Abbildung 8: Kammscher Kreis; Quelle: Wikipedia.org

Die Maximalkraft hängt vom maximalen Kraftschlußbeiwert zwischen Reifen und Straße sowie der Radlast ab. Der Strassenzustand (trocken, feucht, nass, Schnee, Eis, Schotter, ...) hat den größten Einfluss auf den Kraftschlußbeiwert.

Bei normaler Fahrt liegt der Kraftbedarf aller Räder weit innerhalb des Kammschen Kreises. Wird jedoch ein Rad während einer Kurvenfahrt im Grenzbereich durch Bremsen blockiert, so wird die Seitenkraft abgemindert. An der Vorderachse führt dies zum Untersteuern, an der Hinterachse zum Übersteuern. Die resultierende Kraft ist in diesem Fall der Bewegungsrichtung des Radaufstandspunkts entgegengerichtet. Im blockierten Zustand ändert sich die Bewegungsrichtung durch einen Lenkeinschlag nicht. Das Fahrzeug ist mit blockierten Rädern somit nicht mehr lenkbar.

Durchdrehende Räder infolge von Antriebsmomenten bei Kurvenfahrt führen zu ähnlichen Effekten (Untersteuern bei frontgetriebenen Fahrzeugen, Übersteuern bei Hinterachsangetriebenen Fahrzeugen). Moderne Fahrzeuge haben daher Regelsysteme (ESP) die großen Schlupf beim Bremsen (ABS) und Antreiben (ASR), sowie in Querrichtung verhindern.

Im Motorsport wird dagegen Schlupf an der Hinterachse bewusst eingesetzt, um das Fahrzeug zum Driften zu bringen.

Da der Laufstreifen des Reifens elastisch deformierbar ist, können Seitenkräfte nur entstehen, wenn ein Schräglaufwinkel vorhanden ist. Diese Gesetzmäßigkeit hat weitreichende Konsequenzen für das Fahrverhalten, insbesondere bei hohen Fahrgeschwindigkeiten (siehe

Einspurmodell). In Umfangsrichtung kann entsprechend auch nur eine Kraft wirken, wenn Schlupf vorhanden ist.

Trägheitsprinzip

Das physikalische Prinzip, welches man als Fahrer oder Mitfahrer von Fahrzeugen am deutlichsten erfährt, ist das von Isaac Newton formulierte Prinzip der Trägheit. Es besagt, dass ein Körper im Zustand der Ruhe oder der gleichförmigen Bewegung verharret, wenn er nicht durch einwirkende Kräfte gezwungen wird dies zu ändern.

Durch jene äußeren Kräfte erfahren sowohl das Fahrzeug, als auch die Insassen eine Beschleunigung. Die Trägheitskräfte sind der Beschleunigung entgegengerichtet. Bei Kurvenfahrt werden sie von den Insassen als Zentrifugalkraft, beim Bremsen als Kraft nach vorn wahrgenommen. Letztere kann beispielsweise für Insassen von Bussen oder ungenügend befestigte Ladung bei Nutzfahrzeugen unangenehme Folgen haben.

Kurvenfahrt

Das Befahren einer Kurve mit dem Radius R und der Fahrgeschwindigkeit v erfordert die Querbeschleunigung: $a_y = v^2 / R$. Da das Seitenkraftpotential der Reifen begrenzt ist, ergibt sich die maximal mögliche Geschwindigkeit zu:

$$v_{max} = \sqrt{a_{y,max} \cdot R}$$

Wird diese Geschwindigkeit überschritten, kann das Fahrzeug der geplanten Fahrspur (Radius) nicht mehr folgen und verlässt die Fahrbahn, sofern der Fahrer nicht die Geschwindigkeit reduziert. Bei glatter Fahrbahn gehört dieses Verhalten zum Erfahrungshorizont von Normalfahrern.

Typische maximale Querbeschleunigungen von PKW betragen auf trockener Fahrbahn zwischen 8 m/s^2 und 10 m/s^2 . Im Rennsport werden hier wesentlich höhere Werte erreicht. Auf Schnee vermindern sich die Werte auf etwa 3 m/s^2 oder darunter. Auf nassem Eis können sich die Werte bis auf 1 m/s^2 reduzieren.

Aus Gründen der Fahrsicherheit sind moderne Fahrzeuge so ausgelegt, dass bei stationärer Kurvenfahrt die Vorderachse zuerst die Kraftschlußgrenze erreicht. Das Fahrzeug untersteuert. Bei Fahrzeugen mit Heckmotor trat früher der umgekehrte Fall auf. Diese Fahrzeuge waren als „Heckschleudern“ berüchtigt. Bei der Abstimmung wird der Effekt ausgenutzt, dass der maximale Kraftschlußbeiwert von Reifen mit zunehmender Radlast sinkt. Durch Stabilisatoren wird die Radlastdifferenz der Vorderachse größer als die der Hinterachse gewählt. Bei Fahrzeugen mit Heckantrieb reicht dies häufig nicht aus, so dass unterschiedliche Reifen an Vorderachse und Hinterachse zum Einsatz kommen.

Kippgrenze

Fahrzeuge mit hohem Schwerpunkt z.B. Nutzfahrzeuge oder Geländewagen bei ungünstiger Beladung können die Kippgrenze vor der Kraftschlußgrenze erreichen. Die maximale Querbeschleunigung, ab der stationär Kippen möglich ist (Würfelmodell), errechnet sich aus Spurweite S und Schwerpunkthöhe h zu g (Erdbeschleunigung).

$$a_{y,K} = g \cdot \underbrace{\frac{S}{2 \cdot h}}_{SSF}$$

Der Faktor *static stability factor* (SSF) ist ein Maß für die Überschlagswahrscheinlichkeit. Er wird von der amerikanischen Verkehrssicherheitsbehörde *NHTSA* für alle neuen PKW ermittelt. Die Fahrzeuge werden in Klassen von eins bis fünf Sternen eingeteilt (1 Stern sehr hohes Überschlagsrisiko, 5 Sterne geringes Überschlagsrisiko).

Die tatsächliche Kippgrenze ist geringer als mit obiger Formel berechnet, da die Schwerpunktsverlagerung durch den Wankwinkel und die Querverformung der Reifen reduzierend wirkt.

Bremsen

Bei stationärer Kurvenfahrt stellt sich ein *Momentengleichgewicht* um die Fahrzeug-Hochachse durch den Schwerpunkt ein. Beim Bremsen erhöht sich die Achslast an der Vorderachse, während sie sich an der Hinterachse um den gleichen Betrag erniedrigt. Bei Bremskräften deutlich unterhalb der Blockiergrenze nimmt die Seitenkraft an der Hinterachse zunächst ab und an der Vorderachse zu. Bei festgehaltenem Lenkrad zeigt das Fahrzeug eine *Reindrehreaktion* (Bahnradius wird geringer) bei der ein neuer Gleichgewichtszustand gesucht wird. Dies geschieht durch Erhöhen der Giergeschwindigkeit und des Schwimmwinkels. In Extremfällen findet sich kein neues Gleichgewicht, das Fahrzeug schleudert. Bei Fahrzeugen mit Fahrdynamikregelung werden in solchen Fällen ungleiche Bremskräfte kurvenaußen/kurveninnen erzeugt, und damit ein stabilisierendes Giermoment (darunter versteht man ein Moment um die Vertikalachse eines Fahrzeuges).

Fahrzeugspezifische Einflussfaktoren auf die Fahrphysik

Für die Fahrphysik wesentliche Fahrzeug-Komponenten sind:

- Reifen
- Regelsysteme (ABS, ESP,...)
- Massenverteilung (Achslastverteilung, Schwerpunktshöhe)
- Federung, Dämpfung
- Radaufhängung
- Antriebskonzept
 - Frontantrieb
 - Heckantrieb
 - Allradantrieb
- Aerodynamik

1.5.2. ABS und ESP

Heutzutage ist mittlerweile in einem Großteil der Autos ABS und ESP verbaut. Diese zwei Hilfsmittel erleichtern das Fahren mit einem Kraftfahrzeug, indem sie massiv in die Fahrdynamik eingreifen. Durch diese Verbesserungen am Fahrzeug werden gewisse Fahrmanöver für den Autolenker komfortabler und die Sicherheit erhöht sich. Was man unter den einzelnen Systemen versteht wird nachfolgend erklärt:

ABS

Das Antiblockiersystem (ABS), ist ein vorwiegend in Kraftfahrzeugen, verwendetes technisches System zur Verbesserung der Fahrsicherheit und zur Minderung von Verschleiß an den Laufflächen der Räder. Es wirkt bei starkem Bremsen einem möglichen Blockieren der Räder durch Verminderung des Bremsdrucks entgegen. Hierdurch ermöglicht ABS beim Bremsen eine bessere Lenkbarkeit und Spurtreue. Außerdem kann das System über die Regelung des Radschlupfs den Bremsweg auf nasser Straße verkürzen. Auf trockener Straße und losem Untergrund – zum Beispiel Schotter oder Schnee – kann sich der Bremsweg dagegen verlängern.

Die maximale Bremsverzögerung wird in Abhängigkeit von Fahrbahnzustand und Reifen bei etwa 8–25 % Schlupf erreicht. 20 % Bremsschlupf bedeuten, dass im selben Zeitraum, in dem das Fahrzeug einen Weg von einem Meter zurücklegt, die Räder nur 0,8 Meter abrollen. Nach dem Erreichen des Bremskraftmaximums – also jenem Schlupfwert, bei dem die höchste Verzögerung erzielt wird – wächst der Schlupf bei sinkender Bremskraft weiter an, bis das Rad schließlich blockiert (= 100 % Bremsschlupf). Im blockierten Zustand wird nur noch über Gleitreibung abgebremst. Das ABS steuert die Bremskraft an jedem Rad so, dass der Schlupf während des Bremsvorganges jederzeit möglichst nahe beim optimalen Wert bleibt. Bei starkem Bremsen pendelt der Schlupf um diesen Punkt der maximalen Bremskraft.

Bei Gleiten des Reifens ist außerdem keine Übertragung von Seitenkräften möglich. Da das Fahrzeug über die gesamte Auflagefläche der Reifen rutscht, bewirkt ein Lenkeinschlag keine Richtungsänderung. Darüber hinaus kann am Rad beim Blockieren durch punktuellen Abrieb eine sogenannte Bremsplatte entstehen. Beides wird durch ABS vermieden.

Elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP)

Der Begriff **Fahrdynamikregelung** bzw. **Electronic Stability Control (ESC)**, im deutschsprachigen Raum häufig auch mit „ESP“ abgekürzt, bezeichnet ein elektronisch gesteuertes Fahrassistenzsystem für Kraftfahrzeuge, das durch gezieltes Abbremsen einzelner Räder dem Ausbrechen des Wagens entgegenwirkt. ESC ist eine Erweiterung und Verknüpfung des Antiblockiersystems (ABS) mit einer Antriebsschlupfregelung (ASR) und einer Elektronischen Bremskraftverteilung, sowie neuerdings mit einem Bremsassistenten.

Technik und Funktionsweise:

Dieses Fahrerassistenzsystem erhöht die Sicherheit von Fahrzeugen. Durch gezieltes Bremsen einzelner Räder versucht das System, ein Schleudern des Fahrzeugs im Grenzbereich zu verhindern und dem Fahrer so die Kontrolle über das Fahrzeug zu sichern. ESP verhindert durch gezieltes automatisches Bremsen einzelner Räder sowohl das *Übersteuern* als auch das *Untersteuern* eines Fahrzeugs.

Übersteuern/ Untersteuern: Unter Übersteuern versteht man das Ausbrechen des Hecks, während es beim Untersteuern zu einem Schub über die Vorderräder kommt.

Damit ESP auf kritische Fahrsituationen reagieren kann, vergleicht das System permanent (bis zu 150-mal pro Sekunde) den Fahrerwunsch mit dem Fahrzustand. Wenn eine wesentliche Abweichung des berechneten Fahrzustandes vom Fahrerwunsch festgestellt wird, greift das System ein. Ein Übersteuern wird durch Abbremsen des kurvenäußeren Vorderrades, ein Untersteuern durch Abbremsung des kurveninneren Hinterrades korrigiert.

ESP kann auch die Motorleistung drosseln, um die Fahrzeuggeschwindigkeit zu verringern und ein Durchdrehen der Antriebsräder zu verhindern.

Es gibt nur wenige Spezialfälle, bei denen ESP gelegentlich „stört“. Dazu gehört das Fahren mit Schneeketten, auf steilen, verschneiten Steigungen (wegen Nichtzulassung des benötigten hohen Schlupfs), in Steilkurven (auf Rennstrecken), gewolltes Driften in Kurven, schnelles Beschleunigen und allgemein das absichtliche Fahren im Grenzbereich. Hier bemerkt der Fahrer beispielsweise eine Drosselung der Motorleistung. Daneben eignet sich ESP auch dazu, Schwächen in der Fahrwerksauslegung und -abstimmung zu korrigieren.

2. Fahrversuche

Im Laufe dieser Arbeit wurden verschiedene Fahrmanöver durchgeführt, um zu sehen, welche Beschleunigungskräfte wirken, beziehungsweise wie sich unterschiedliche Straßenbeläge auf die Hochbeschleunigung auswirken.

Was bei den Versuchen immer bedacht werden soll ist, dass es mit äußerst hoher Wahrscheinlichkeit nicht zu völlig gleichen Ergebnissen kommen wird, sollte ein und derselbe Versuch von unterschiedlichen Personen durchgeführt werden. Selbst wenn eine Person einen Versuch mehrmals durchführt, ist das Ergebnis normalerweise nicht ident mit dem vorigen. Das liegt natürlich daran, dass jeder Mensch nicht exakt handelt wie ein anderer. Bei einer Person sind auch unterschiedliche Gemütszustände dafür verantwortlich.

Versuchsübersicht:

1. grundlegende Versuche

- Messgerät in Ruhe und ausgerichtet
- Messgerät im ruhenden Auto

2. Versuche zur Längsbeschleunigung

- Beschleunigung
- Betriebsbremsung
- energetisches Beschleunigen auf 100 km/h
- moderates Beschleunigen
- Motorbremse

3. Versuche zur Querschleunigung

- Kurvenfahrt
- Kreisverkehr
- Fahrbahnteiler/ Mittelinsel
- kurviger Landstraßenabschnitt

4. Versuche zur Vertikalbeschleunigung

- Kopfsteinpflaster
- Autobahn
- Straßenbahntrasse
- Fahrbahnanhebung

5. sonstige Versuche

- Fahrt mit einem ausgerichteten und einem ungerichteten Messgerät

2.1. grundlegende Versuche

2.1.1 Messgerät in Ruhe und ausgerichtet

Die Versuche aus Kapitel 2.1.1 dienen der Kalibrierung der Messgeräte. Ein weiteres Ziel dieser Versuche ist es, Korrekturfaktoren zu erhalten, welche eine möglichst unverzerrte Darstellung, der während der Fahrt auftretenden Beschleunigungen ermöglichen. Die ordnungsgemäße Funktion der Messgeräte (Gerätenummer 8807 und 8624) wurde an den horizontalen, unbewegten Geräten getestet. Die Messwerte (bereinigt nach Gleichung (1), (2) und (3) Seite 8) aus drei Messreihen (am Tisch liegend und zweimal mit Wasserwaage horizontalisiert) sind in den nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 10 bis Abbildung 12) dargestellt.



Abbildung 9: mit der Wasserwaage horizontal ausgerichtetes Messgerät

Ergebnisse:

Bei den nachfolgenden Diagrammen (Abbildung 10 bis Abbildung 12) wurde jeweils ein Zeitintervall von 10 Sekunden dargestellt, getrennt nach den einzelnen Beschleunigungsrichtungen.

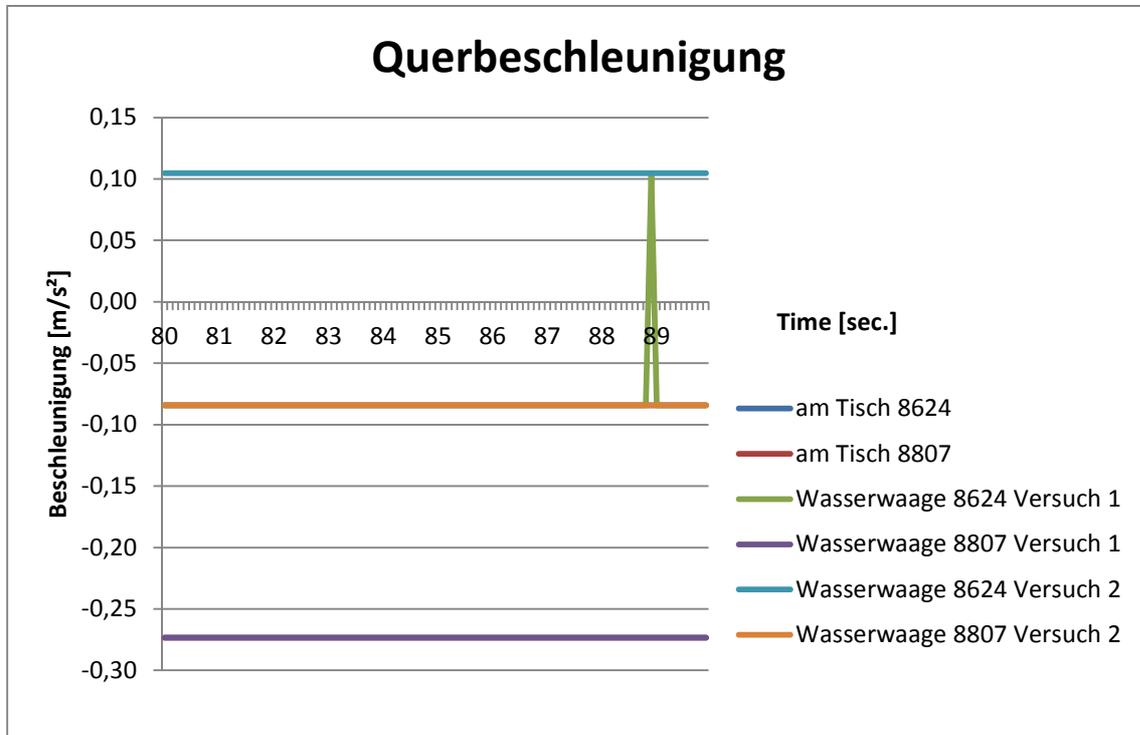


Abbildung 10: Die Querbeschleunigung der zwei Geräte bei verschiedenen Versuchen mit horizontaler Ausrichtung

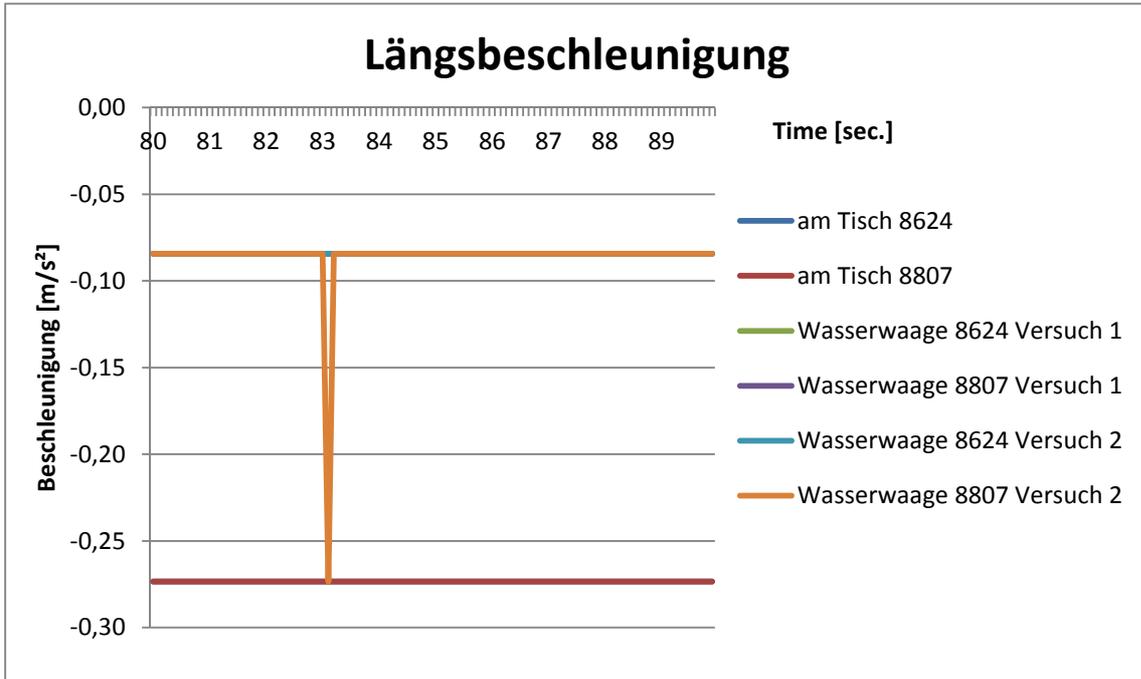


Abbildung 11: Die Längsbeschleunigung der zwei Geräte bei verschiedenen Versuchen mit horizontaler Ausrichtung

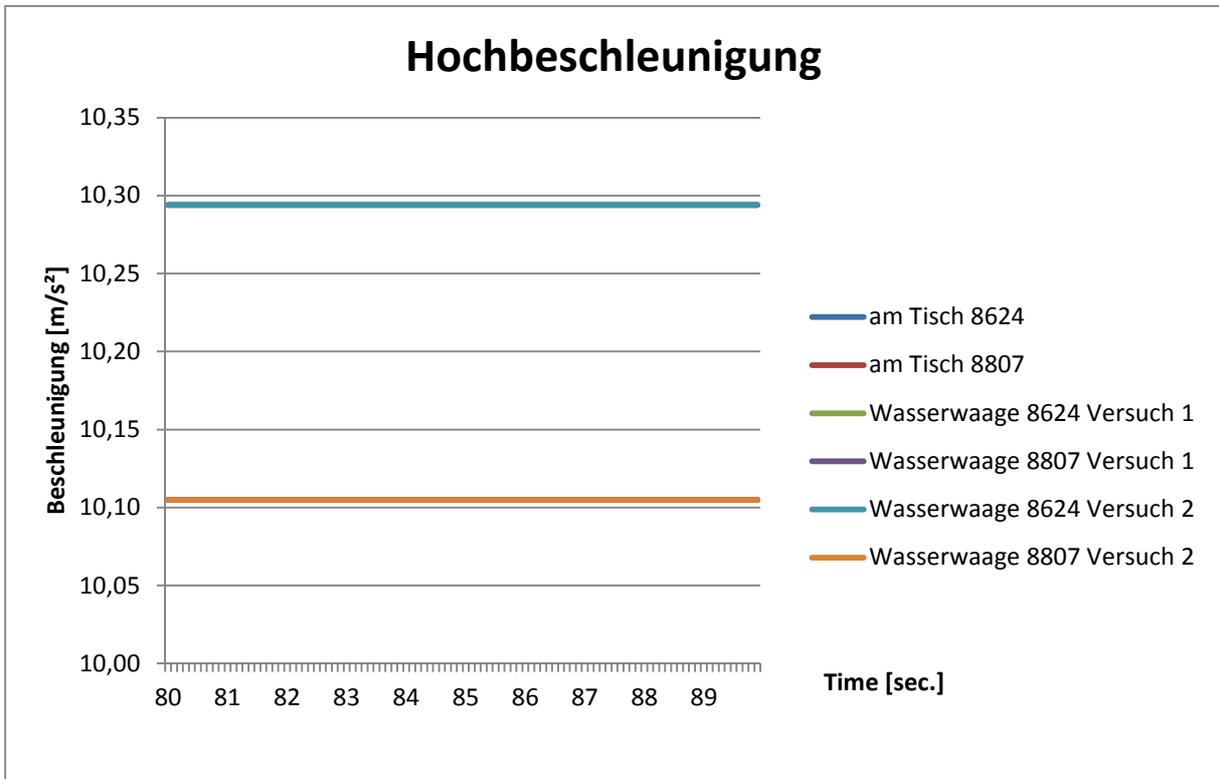


Abbildung 12: Die Hochbeschleunigung der zwei Geräte bei verschiedenen Versuchen mit horizontaler Ausrichtung

Ergebnisse:

Für die Quer- und Längsbeschleunigung gilt gleiches: Die Beschleunigungen sollten idealerweise bei 0 m/s^2 liegen. Die Beschleunigung in die Hochrichtung beträgt idealerweise $9,81 \text{ m/s}^2$.

Tabelle 2: Messergebnisse

	Längsbeschleunigung		Querbeschleunigung		Hochbeschleunigung	
	8624	8807	8624	8807	8624	8807
am Tisch	-0,27	-0,27	-0,08	-0,27	10,29	10,10
Versuch 1 Wasserwaage	-0,08	-0,08	-0,08	-0,27	10,29	10,10
Versuch 2 Wasserwaage	-0,08	-0,08	0,10	-0,08	10,29	10,10

Wie aus Tabelle 2 und den Abbildungen 10,11 und 12 ersichtlich ist, weichen die gemessenen von den erwarteten Werten (bei Längs- und Querbeschleunigung $0,0 \text{ m/s}^2$, bei der Hochbeschleunigung $9,81 \text{ m/s}^2$) nur minimal ab. Grund dafür ist, dass die Umrechnungsparameter (a und b) streng genommen für jedes einzelne Messgerät einzeln bestimmt werden müssen (vgl. Kapitel 1.4 Meßdaten). Die Ergebnisse wurden als ausreichend genau angenommen.

2.1.2 Messgerät im ruhenden Auto

Der Versuch soll veranschaulichen, welche Beschleunigungswerte auftreten, wenn das Messgerät im stehenden Auto verbaut ist. Das Messgerät wurde wie bei allen anderen Versuchen auf der Mittelkonsole angeklebt (siehe Abbildung 4).

Jede Straße oder jeder Parkplatz besitzt eine Längs- bzw. Querneigung. Um zu gewährleisten, dass das Auto sich während des Versuchs auf horizontalem Untergrund befindet, wurde es auf einer LKW- Verwiege Station abgestellt.

Der Versuch wurde zur besseren Kontrolle der Ergebnisse zweimal durchgeführt.

Ergebnisse:

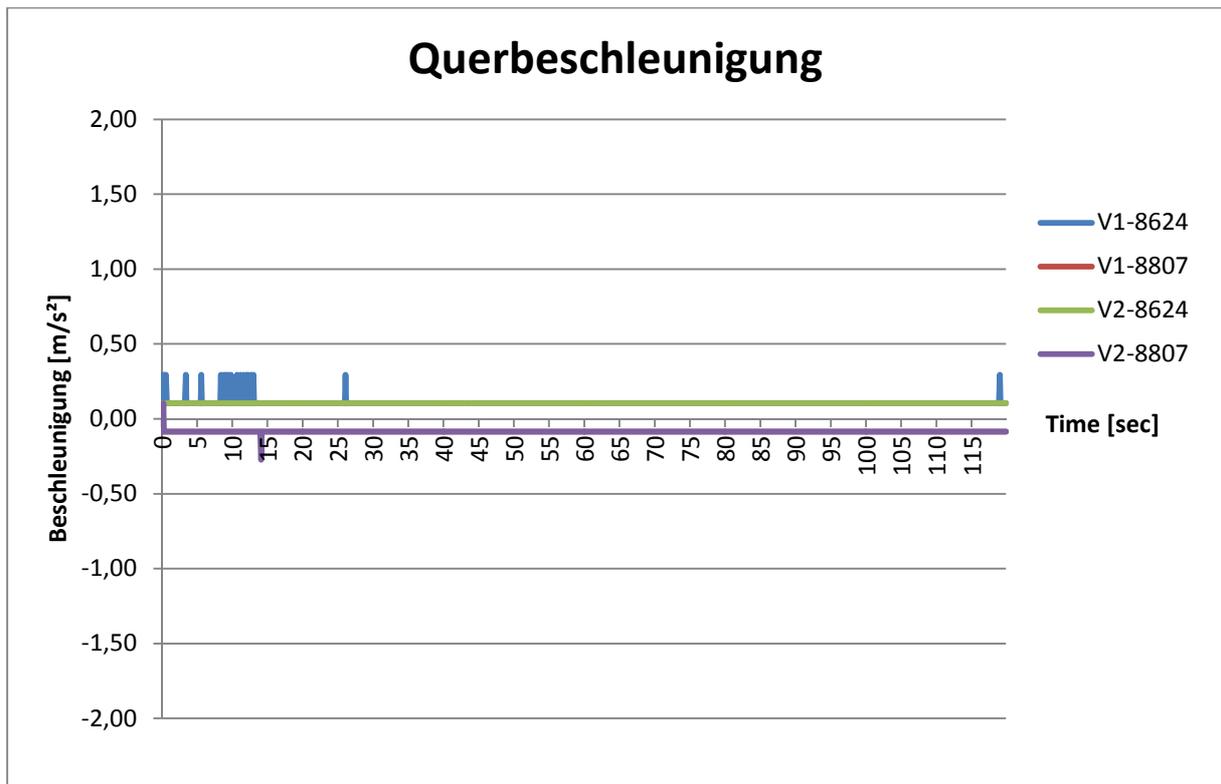


Abbildung 13: Querbeschleunigung des im ruhenden Auto aufgebauten Messgeräts

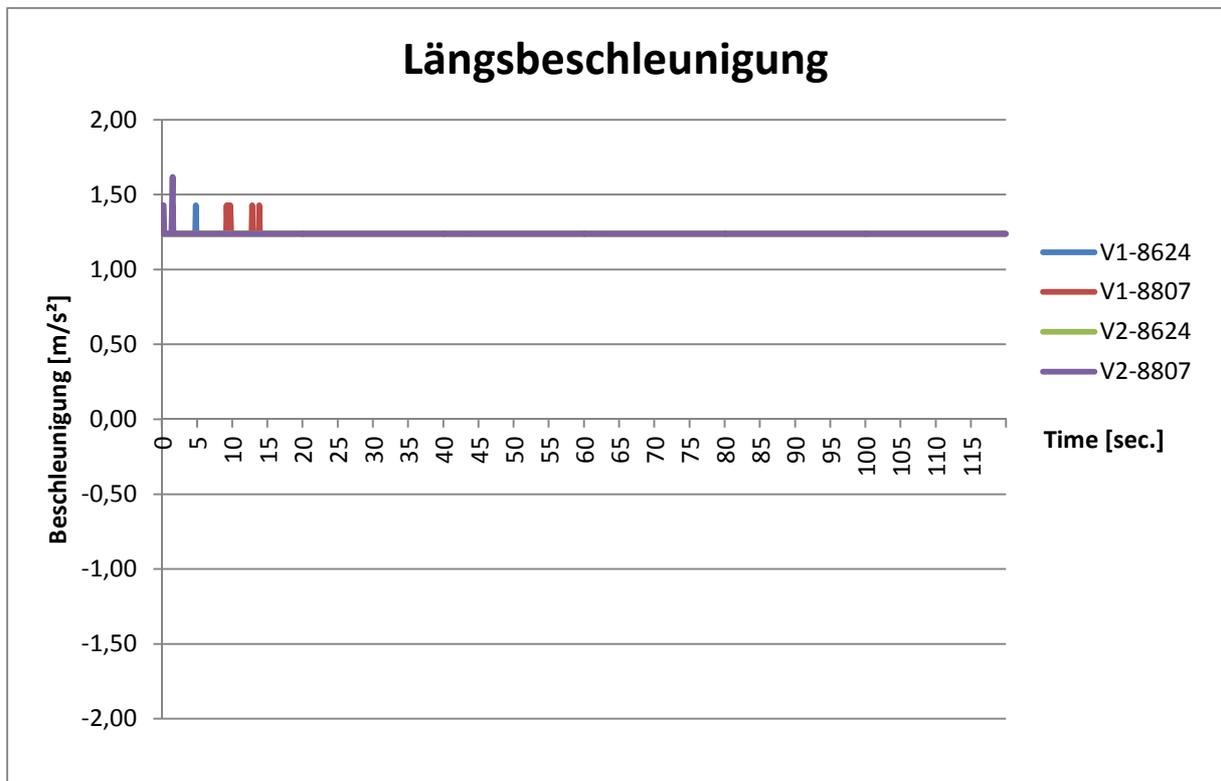


Abbildung 14: Längsbeschleunigung des im ruhenden Auto aufgebauten Messgeräts

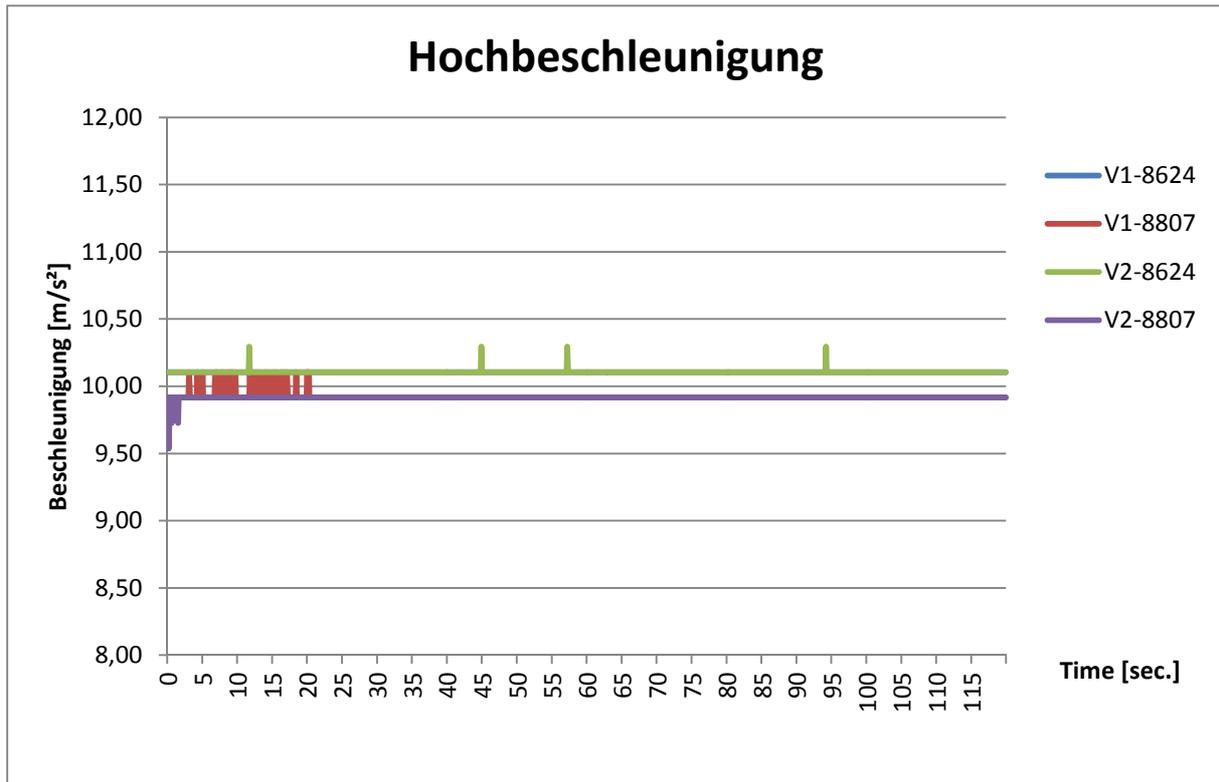


Abbildung 15: Längsbeschleunigung des im ruhenden Auto aufgebauten Messgeräts

Anhand der Auswertung der Ergebnisse kann man erkennen, dass die Längsbeschleunigung vom Sollwert ($0,0 \text{ m/s}^2$) um $1,24 \text{ m/s}^2$ abweicht. Grund dafür ist eine geringe Neigung der Mittelkonsole. Die Mittelkonsole neigt sich in Richtung Heck des Autos. Bei der Quer- und Hochbeschleunigung kommt es zu keinen erwähnenswerten Abweichungen vom Sollwert (Quer: $0,0 \text{ m/s}^2$, Hoch $9,81 \text{ m/s}^2$).

Tabelle 3: Versuchsergebnis getrennt nach Messgeräten und Durchgängen

	Querbeschleunigung		Längsbeschleunigung		Hochbeschleunigung	
	8624	8807	8624	8807	8624	8807
Durchgang 1	0,10	-0,08	1,24	1,24	10,10	9,92
Durchgang 2	0,10	-0,08	1,24	1,24	10,10	9,92

Auffällig ist, dass trotz der gleichen Versuchsdurchführung, unterschiedliche Werte zwischen den einzelnen Geräten auftreten. Bei der Längsbeschleunigung tritt aufgrund der Messgeräte-Anordnung eine permanente Beschleunigung von $1,24 \text{ m/s}^2$ auf. Dieser Wert wird bei allen nachfolgenden Versuchen von der Längsbeschleunigung abgezogen. In einzelnen Fällen kann es aber trotzdem vorkommen, dass in Längsrichtung eine geringe Beschleunigung auftritt (z.B. wie in Abbildung 18). Der Grund dafür ist die Straßenlängsneigung.

2.2. Versuche zur Längsbeschleunigung

2.2.1. Beschleunigung

Der Versuch wurde an einer leicht ansteigenden Geraden durchgeführt. Es wurde vom Stillstand auf ca. 90 km/h beschleunigt. Es wurde bis in den 2. Gang geschaltet.

Fahrbahn: Asphalt; Fahrbahnverhältnisse: trocken

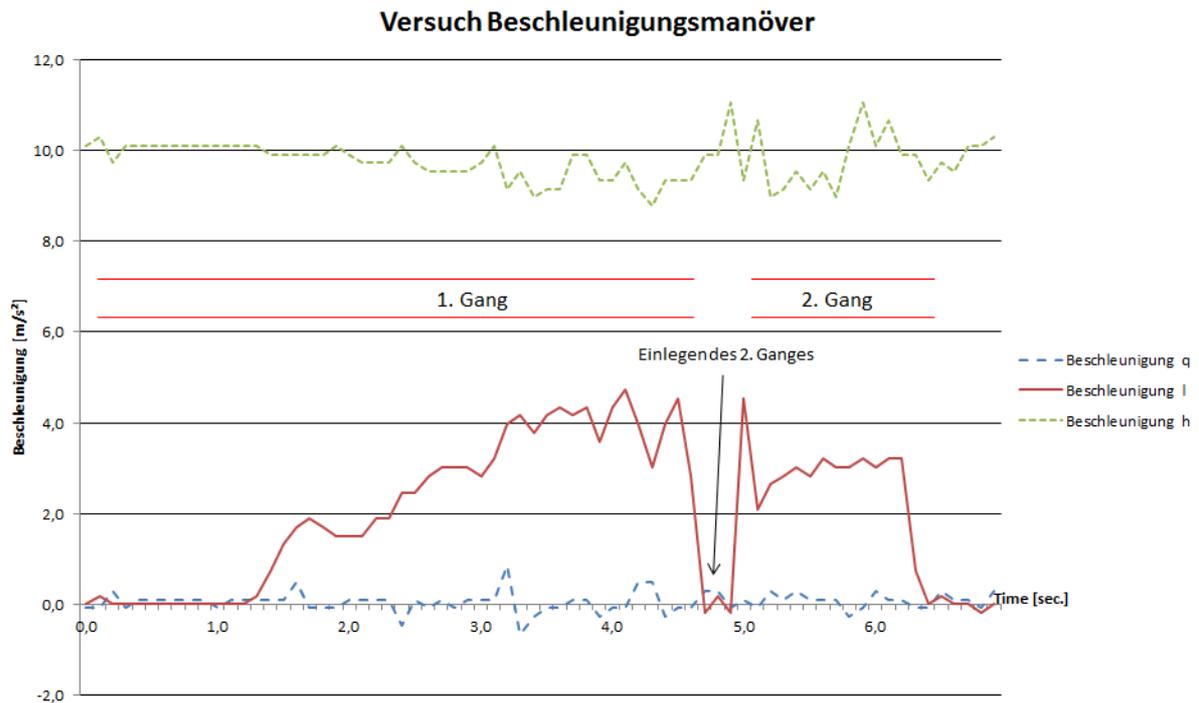


Abbildung 16: Auswertung des Beschleunigungsversuches

An diesem Versuch ist das Schaltmanöver in den 2. Gang gut erkennbar. Es kam zu einer Längsbeschleunigung bis zu 4,7 m/s^2 . Durch den Luftwiderstand und das Betätigen der Kupplung besteht kein Vorschub. Es kommt zu einer Beschleunigungsreduktion auf 0 m/s^2 während des Schaltmanövers.

Woraus setzt sich der Luftwiderstand zusammen, und wie wird er berechnet:

(Quelle: <http://home.foni.net/~michaelbosch/auto/economic/calculat.htm>; am 15.12.2011)

$$F_r = A/2 * C_w * D * v^2 \quad (4)$$

F_r [N]..... Luftwiderstand

A [m^2].... Stirnfläche des Fahrzeugs; Die Stirnfläche ist die Projektionsfläche der Fahrzeugfront auf eine senkrechte Fläche

C_w [].....Luftwiderstandsbeiwert

Dimensionsloser Wert abhängig von der Fahrzeugform. Wird im Windkanal ermittelt.

D [kg/m^3]..... Luftdichte

Ändert sich in Abhängigkeit der Temperatur und Seehöhe. Für unsere Berechnungen betrachten wir sie als eine Konstante von $1,29 kg/m^3$.

v [m/s]..... Fahrgeschwindigkeit

Damit ergeben sich für uns drei Einflussfaktoren:

1. die Stirnfläche (bei PKW's ca. $1,7 - 2,2 m^2$)
2. der Luftwiderstandsbeiwert (bei PKW's ca. $0,25 - 0,37$)
3. die Fahrgeschwindigkeit

Somit ist der Luftwiderstand proportional zum C_w -Wert und zur Stirnfläche A . Jedoch erhöht er sich mit dem Quadrat der Geschwindigkeit v .
Fährt man doppelt so schnell, kämpft das Auto gegen den vierfachen Luftwiderstand an

2.1.2. Betriebsbremsung

Beim Verzögerungsversuch wurde von einer Geschwindigkeit von ca. $65 km/h$ bis zum Stillstand gebremst. Die Art der Verzögerung kann man als Betriebsbremsung einstufen. Die Strecke auf welcher der Versuch durchgeführt wurde, hatte keine nennenswerte Längsneigung.

Fahrbahn: Asphalt; Fahrbahnverhältnisse: trocken

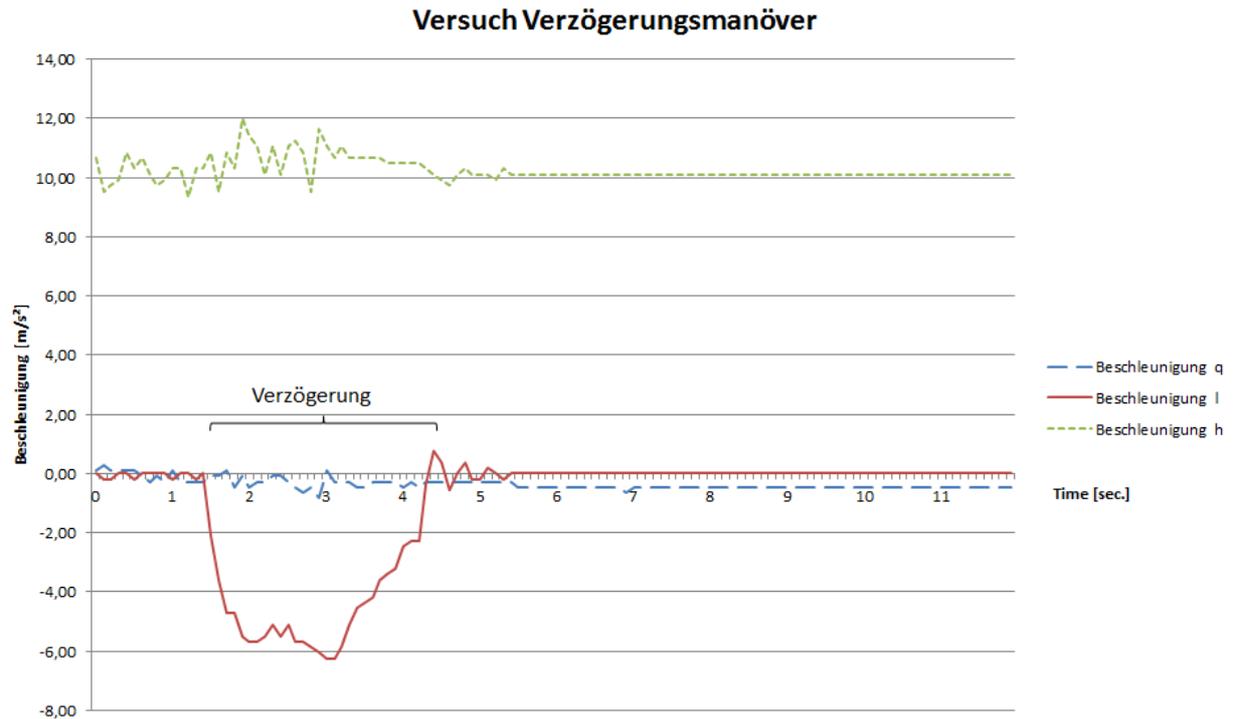


Abbildung 17: Auswertung des Verzögerungsversuches

Eindeutig erkennbar ist die Verzögerung in Längsachsrichtung. Die Verzögerung erreicht Werte von maximal $-6,24 m/s^2$.

Sowohl beim Beschleunigungsversuch als auch beim Verzögerungsversuch wurde nicht an die Grenzen des Fahrzeuges gegangen (Vollbeschleunigung/Vollbremsung). Bei beiden Versuchen wurden die Fahrmanöver jedoch so durchgeführt, wie diese Manöver im normalen Alltagsgebrauch nicht durchgeführt werden.

2.2.3 Energisches Beschleunigen auf 100 km/h

Das Fahrzeug wurde aus dem Stillstand auf 100 km/h beschleunigt und anschließend gebremst, um die Beschleunigungen in Längsrichtung im Vergleich zu einem „normalen“ bzw. „moderaten“ Beschleunigungsvorgang aufzuzeigen. Die Strecke an welcher der Versuch durchgeführt wurde, hatte eine geschätzte Längsneigung von ca. 5%. Die Fahrtrichtung war bergauf.

Fahrbahn: Asphalt, Zustand – mäßig; Fahrbahnverhältnisse: trocken

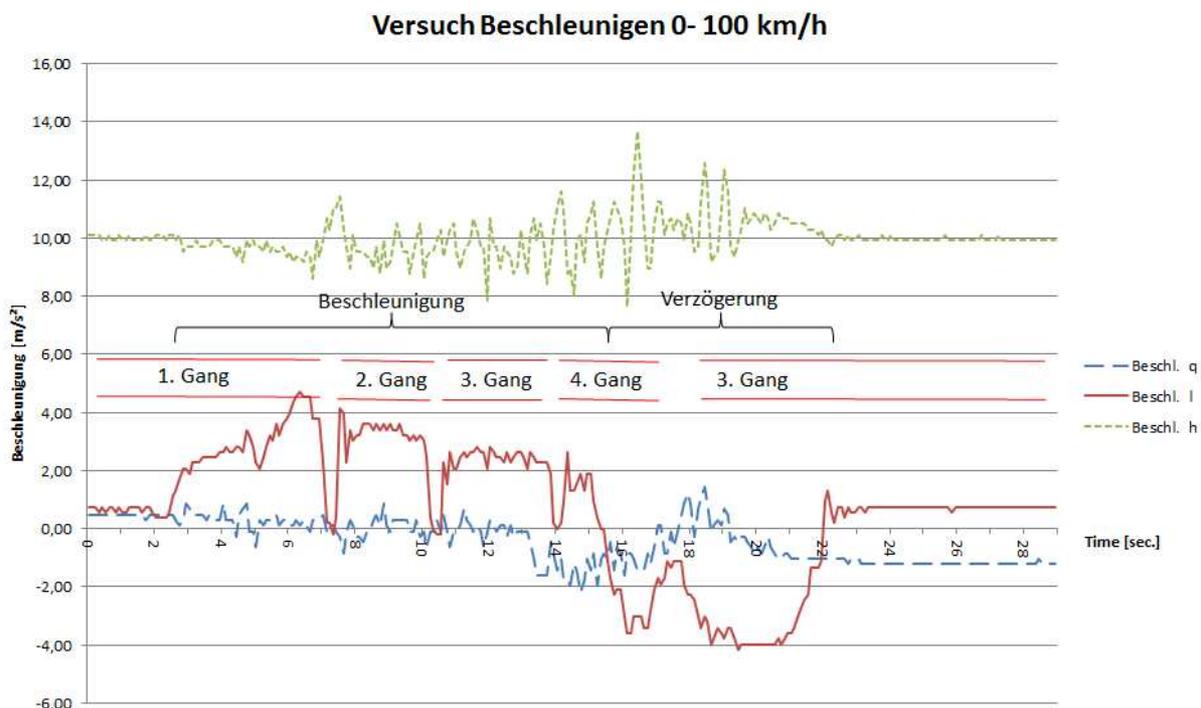


Abbildung 18: Auswertung des Beschleunigungsversuches 0-100 km/h

Ergebnisse: Durch die Längsneigung der Straße misst der Sensor bereits eine Längsbeschleunigung von $0,76 \text{ m/s}^2$. Der Spitzenwert der Beschleunigung ist $4,54 \text{ m/s}^2$. Beim Verzögern (Bremsen) hat man einen Spitzenwert von $-4,16 \text{ m/s}^2$. Rechnet man die Straßenlängsneigung heraus, so bekommt man für das Beschleunigen einen Nettowert $3,78 \text{ m/s}^2$. Der Nettowert bei der Verzögerung beträgt somit $4,92 \text{ m/s}^2$. Der Beschleunigungsvorgang dauerte exakt 12,7 Sekunden. Würde man das Fahrzeug auf schnellst möglichen Weg und einer waagrechten Fahrbahn auf 100 km/h beschleunigen, so wäre die benötigte Zeit 11,3 Sekunden (Quelle: http://www.alle-autos-in.de/volkswagen/volkswagen_golf_19_tdi_a531.shtml am 08.01.2012)

2.2.4. Moderates Beschleunigen

Um zu zeigen wie die Beschleunigungen bei einer „normalen“ Fahrt aussehen, wurde der Versuch- moderates Beschleunigen- durchgeführt. Bei der Versuchsstrecke handelte es sich um eine Asphaltstraße ohne nennenswertes Gefälle. Das Auto wurde ebenfalls wie bei Abbildung 18 auf 100 km/h beschleunigt, anschließend verzögert.

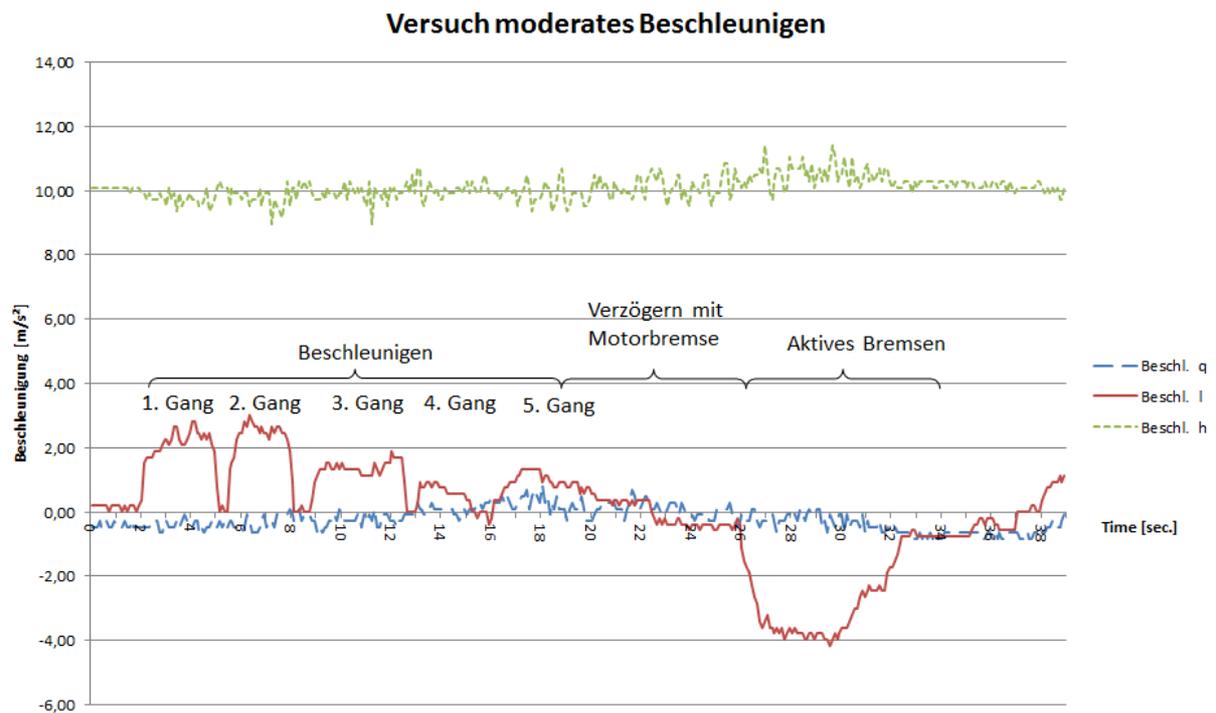


Abbildung 19: Auswertung des Versuches moderates Beschleunigen

Ergebnisse: Beim Beschleunigungsvorgang wird ein Spitzenwert von 2,84 m/s^2 erreicht. Bei der Verzögerung erhält man einen Maximalwert von -4,08 m/s^2 . Die Dauer der Beschleunigung um die Endgeschwindigkeit von 100 km/h zu erhalten, betrug bei diesem Versuch 16,1 Sekunden.

2.2.5. Vergleich energisches und moderates Beschleunigen

Tabelle 4: Ergebnisvergleich

	Versuch	
	Beschleunigen 0-100 km/h	moderates Beschleunigen
Dauer 0-100 km/h [Sec.]	9,8	16,1
max. Beschleunigung [m/s^2]	3,78	2,84
max. Verzögerung [m/s^2]	4,92	4,08

Aus Tabelle 4 ist eindeutig zu sehen, dass es bei der rasanten Fahrweise zu deutlich höheren Kräften/ Beschleunigung kommt, als bei der moderaten Fahrweise.

2.2.6. Motorbremse

Dieser Versuch wurde durchgeführt, um darzustellen, wie sich die Längsbeschleunigung beim Herunterschalten verändert. Die Straße, an welcher der Versuch stattfand, war die Amundsenstraße in Wien.

Fahrbahn: Asphalt; Fahrbahnverhältnisse: trocken



Abbildung 20: Amundsenstraße in Wien, Fahrtrichtung Penzing- in welche der Versuch durchgeführt wurde

Versuchsdurchführung:

- Versuch wurde bergab durchgeführt (Fahrtrichtung Penzing)
- Straßenlängsneigung ca. 5%
- Geschwindigkeit zu Versuchsbeginn ca. 100 km/h
- Gewählter Gang zu Versuchsbeginn ist Gang 5

- Es wurde von Gang 5 bis Gang 1 heruntergeschaltet. Während des Herunterschaltens wurde mit der Motorbremse verzögert. Um das Auto zum Stillstand zu bringen, wurde zum Schluss aktiv gebremst (siehe Abbildung 21).
- Bei einem „Bergaufversuch“ wären die maximalen Beschleunigungen der Längsrichtung wahrscheinlich nicht so hoch.

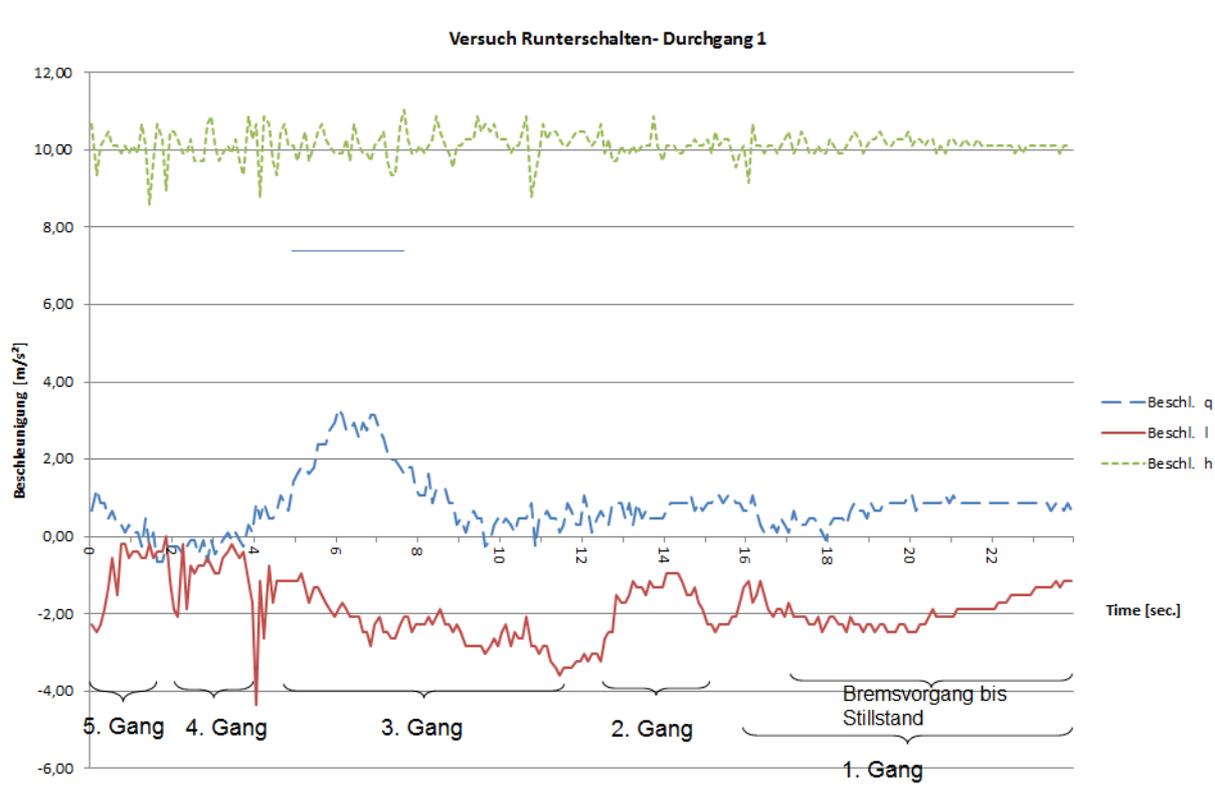


Abbildung 21: Auswertung des Versuches „Herunterschalten“

Ergebnisse: Es sind die einzelnen Schaltvorgänge zu erkennen, auch wenn nicht mit der Deutlichkeit, wie vergleichsweise bei einer Beschleunigung. Dieses Beschleunigungs-/Verzögerungsbild könnte auch mit ruckhaftem Bremsen erzielt werden.

Interpretationen zur Quer- und Hochbeschleunigung aus den Längsbeschleunigungsversuchen:

Hochbeschleunigung: Je energetischer Fahrmanöver durchgeführt werden beziehungsweise je größer die Beschleunigungen in die Längsrichtung, desto größer sind die Beschleunigungsunterschiede in Fahrzeughochrichtung.

Querbeschleunigung: zwischen den Beschleunigungen in Querrichtung und den Beschleunigungen in Hochrichtung ist kein Zusammenhang erkennbar.

2.3. Versuche zur Querbeschleunigung

2.3.1. Kurvenfahrt

Der Versuch wurde in der Starkfriedgasse/ BÜdingergasse durchgeführt. In Fahrtrichtung gesehen kommt zuerst eine Rechtskurve und anschließend (durch das Abbiegen in die BÜdingergasse) eine Linkskurve. Die Rechtskurve weist einen höheren Radius auf als die Linkskurve.

Fahrbahn: Asphalt; Fahrbahnverhältnisse: nass durch Schneematsch



Abbildung 22: Standort der Versuchsdurchführung, Quelle: Google Maps (18.11.2011)

Rechtskurve:

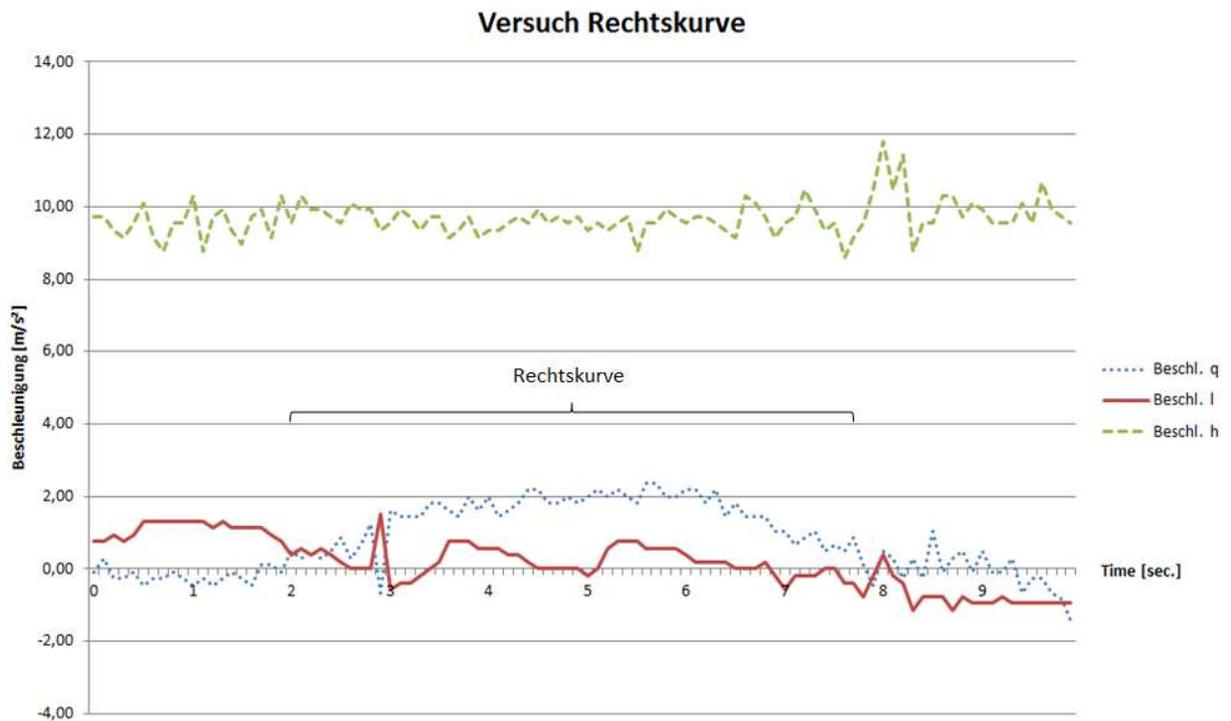


Abbildung 23: Auswertung Rechtskurve

Linkskurve:

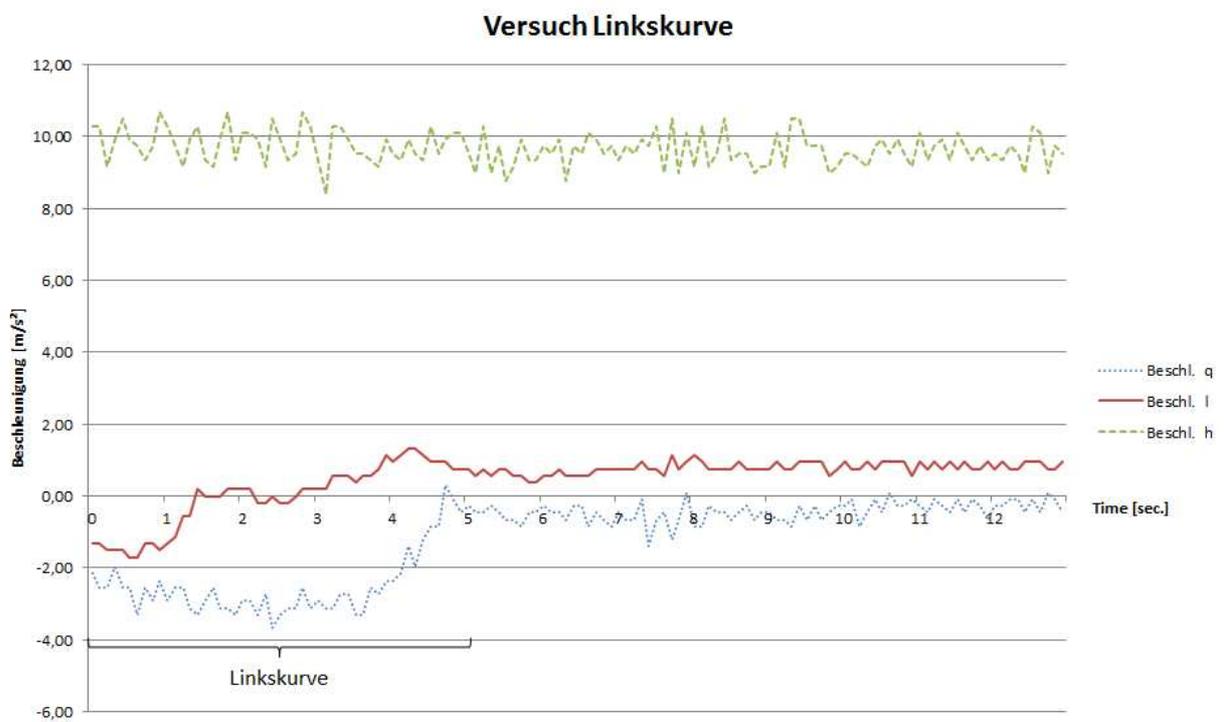


Abbildung 24: Auswertung Linkskurve

Abfolge Rechts-/ Linkskurve:



Abbildung 25: Auf dem linken Foto ist die zu durchfahrene Rechtskurve und im rechten Foto die zu durchfahrene Linkskurve zu sehen.

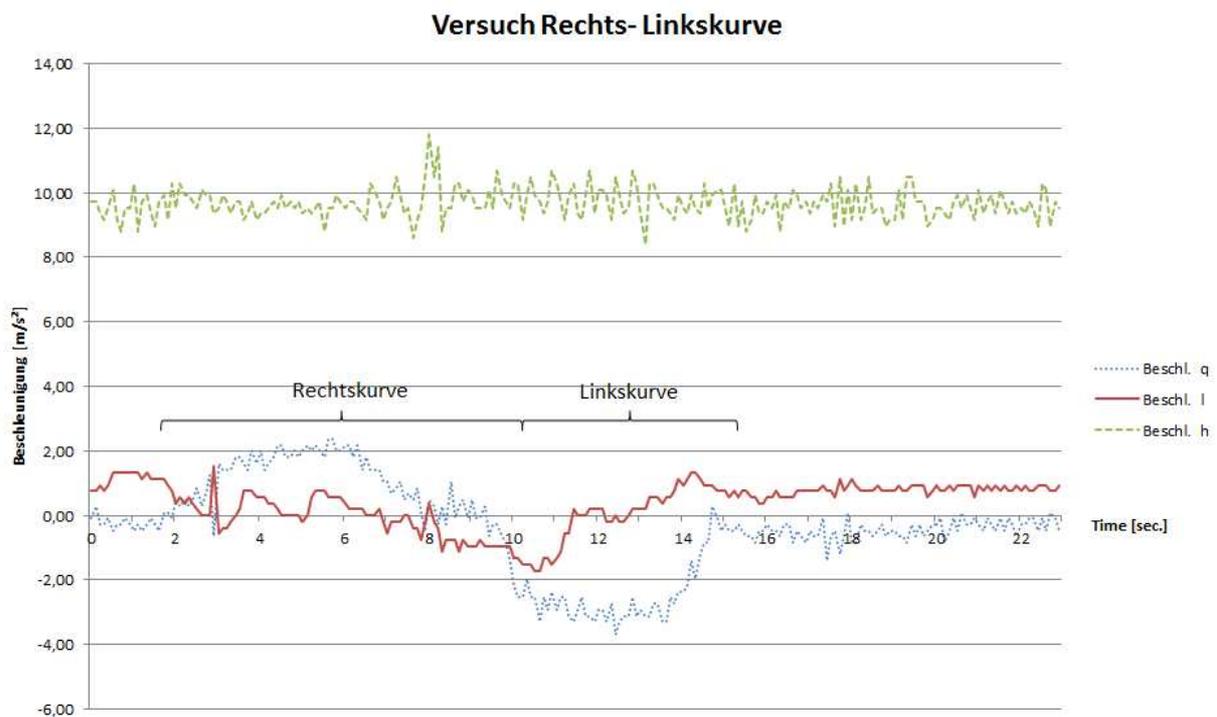


Abbildung 26: Auswertung Rechts-/ Linkskurve

Bei der Rechtskurve bewegen sich die Querbeschleunigungswerte zwischen $0 m/s^2$ und $2,37 m/s^2$ während sich bei der Linkskurve die Werte sich zwischen $0 m/s^2$ und $3,68 m/s^2$ bewegen. Der Grund dafür liegt darin, dass die Kurven mit annähernd derselben Geschwindigkeit durchfahren wurden. Da die Linkskurve einen deutlich kleineren Radius aufweist kommt es dort zu einer höheren Querbeschleunigung/ Fliehkraft.

2.3.2. Kreisverkehr

Der Versuch wurde durchgeführt, um zu zeigen, wie sich das Auto beim Durchfahren eines Kreisverkehrs verhält und ob man einen Unterschied zu anderen Kurvenfahrten erkennen kann. Der Versuch wurde in Wien (Kreisverkehr Neuwaldeggerstraße/ Exelbergstraße) von der Exelbergstraße kommend durchgeführt (siehe Abbildung 27).

Fahrbahn: Asphalt; Fahrbahnverhältnisse: trocken



Abbildung 27: Kreisverkehr Neuwaldeggerstraße/ Exelbergstraße, Quelle: Google Maps am 20.11.2011

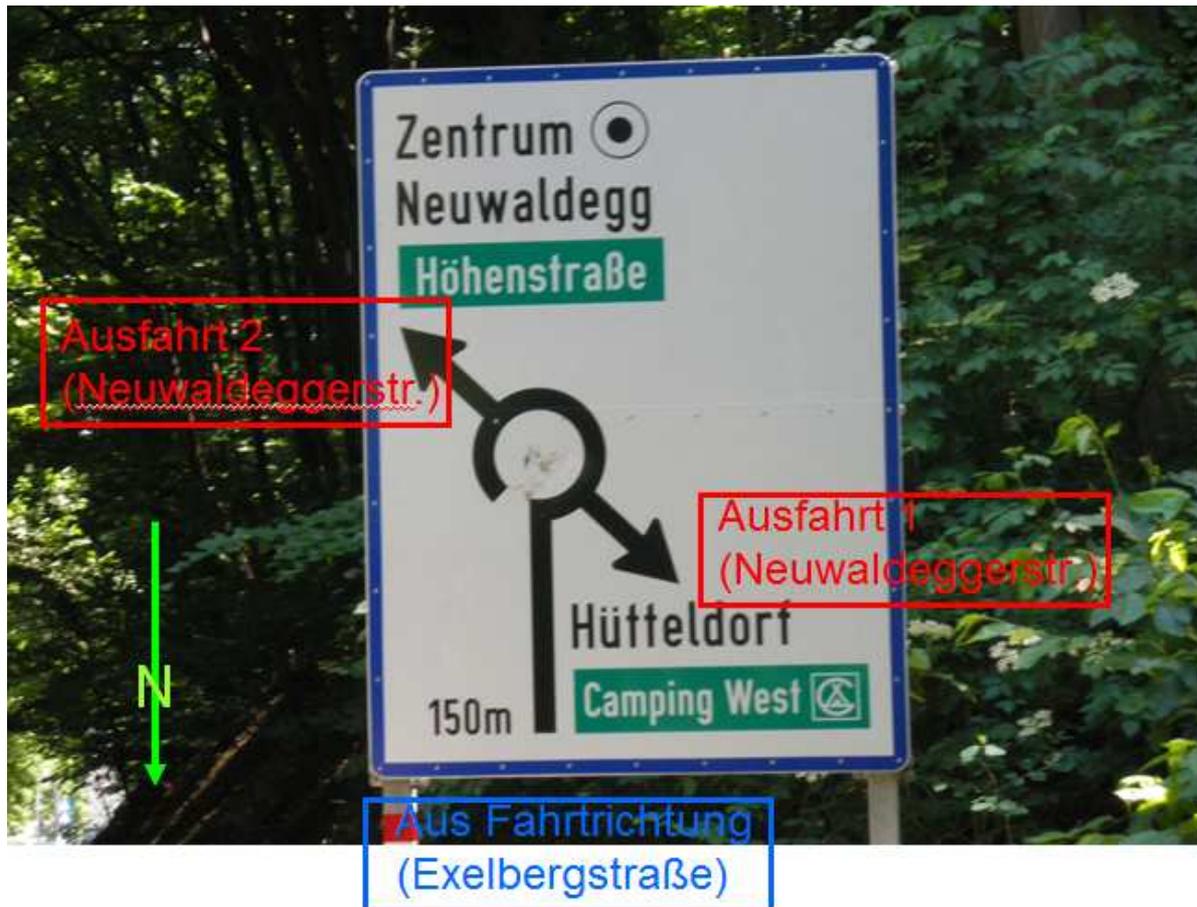


Abbildung 28: Versuchsstrecke: Fahrtrichtung von der Exelbergstrasse kommend. Ausfahrt 1 in die Neuwaldegger Straße Richtung Wien Penzing. Ausfahrt 2 ebenso in die Neuwaldegger Straße Richtung Wien Höhenstrasse.

Ausfahrt 1:



Abbildung 29: Ausfahrt 1 mit Fahrtrichtung

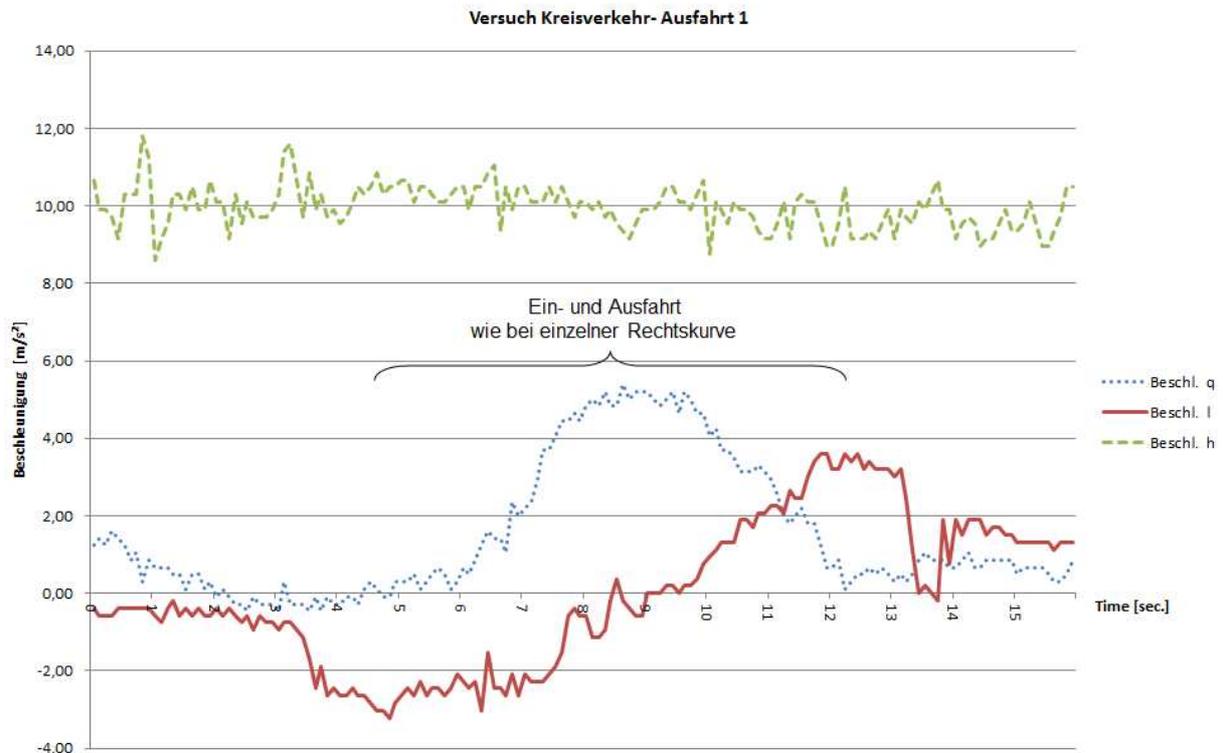


Abbildung 30: Versuch Kreisverkehr- Ausfahrt 1: Die Quereschleunigung verhält sich wie bei dem Durchfahren einer gewöhnlichen Kurve.

Ausfahrt 2:



Abbildung 31: Ausfahrt 2 mit Fahrtrichtung

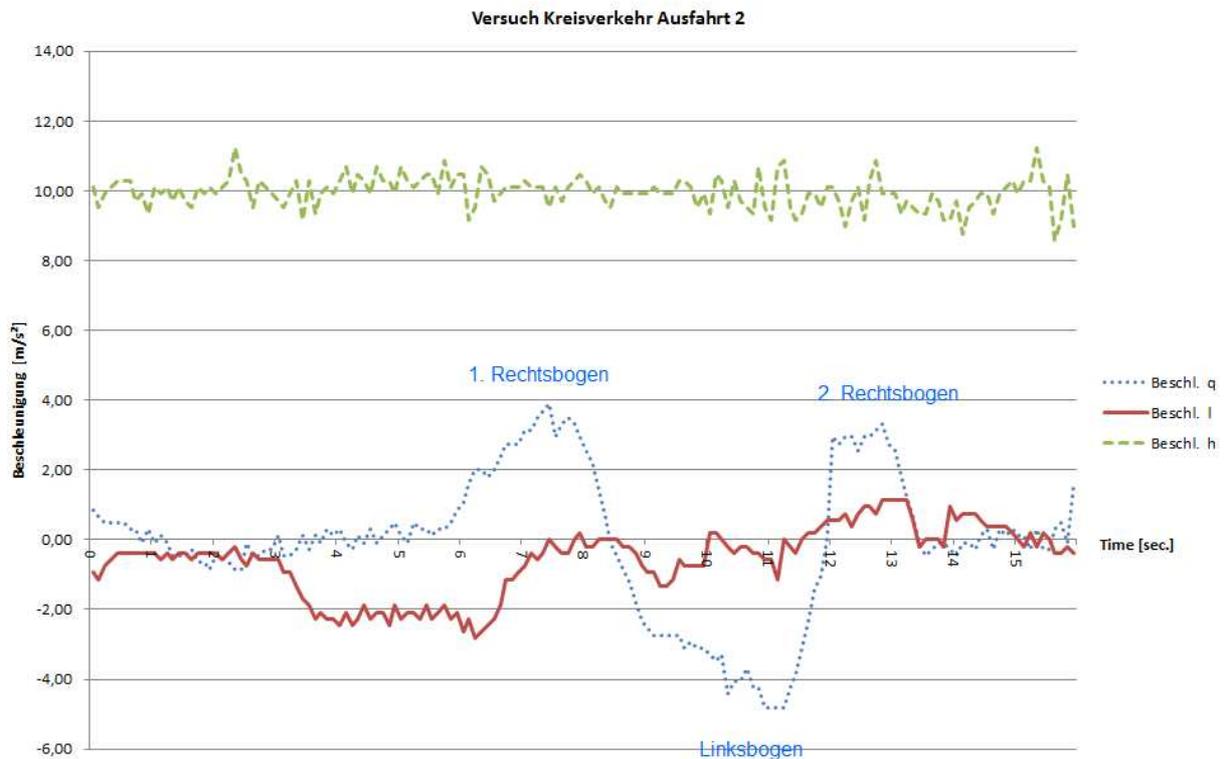


Abbildung 32: Versuch Kreisverkehr- Ausfahrt 2

Ergebnisse: Beim Durchfahren der Ausfahrt 1 kommt es zu einer Querbeschleunigung von ca. $4,4 \text{ m/s}^2$. Bei Ausfahrt 2 in den Rechtskurven zu einer Querbeschleunigung von ca. $3,7 \text{ m/s}^2$ und der Linkskurve zu einer Querbeschleunigung von $-4,8 \text{ m/s}^2$. Sowohl bei Ausfahrt 1 und 2 treten Querbeschleunigungen auf, wie sie auch bei einer normalen Kurvenfahrt zu erwarten sind.

2.3.3. Mittelinsel/ Fahrbahnteiler

Der Versuch wurde durchgeführt, um zu veranschaulichen, wie sich die Querbeschleunigung beim Durchfahren eines Fahrbahnteilers verhält. Der Versuch wurde auf der L6046 in Neumarkt an der Ybbs Richtung Köchling durchgeführt. Die Geschwindigkeit betrug 50 km/h .

Fahrbahn: Asphalt; Fahrbahnverhältnisse: trocken

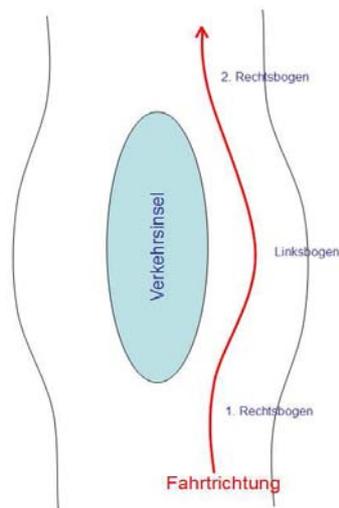


Abbildung 33: Verkehrsinsel auf der L6046; Fahrtrichtung Köchling

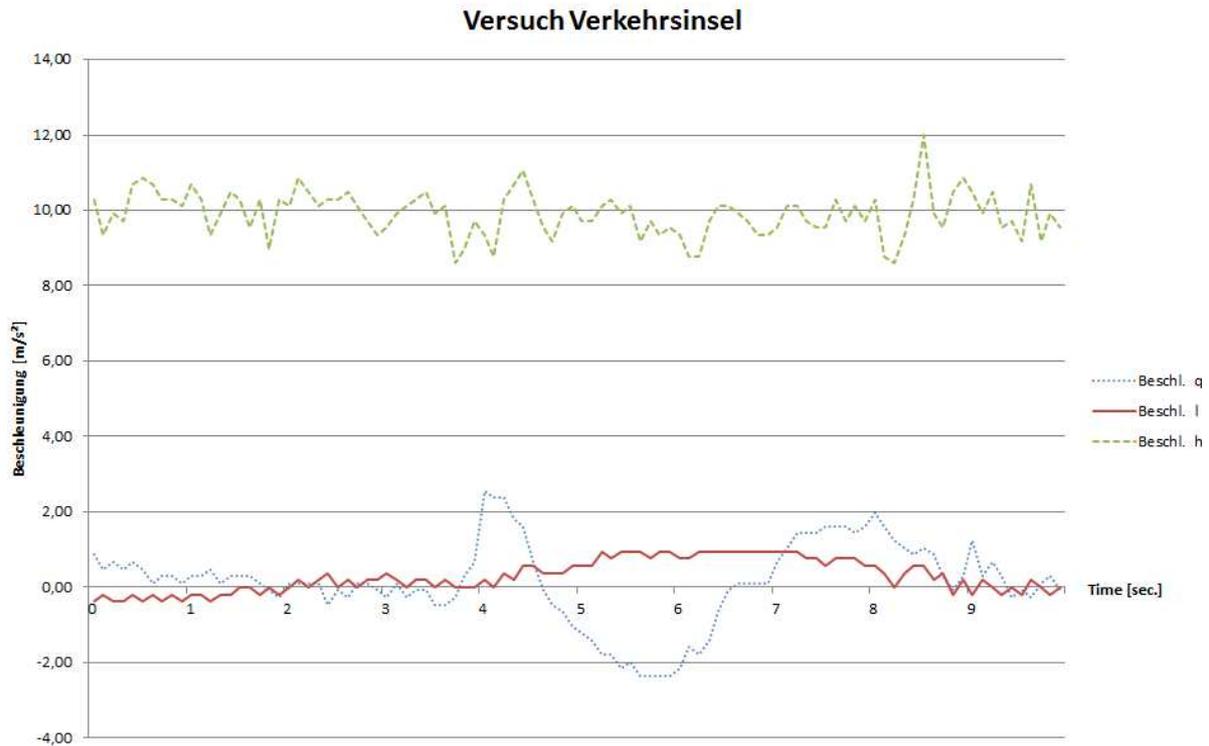


Abbildung 34: Versuch Verkehrsinsel; auffällig die Ähnlichkeit zum Versuch Kreisverkehr Ausfahrt 2 (vergleiche Abbildung 32)

Ergebnisse: Die Querschleunigungen weisen lediglich ca. 2 m/s^2 auf. Vom Kurvenverlauf sind die Querschleunigungen dieses Versuches sehr ähnlich den Querschleunigungen des Kreisverkehrsversuches. Grund dafür ist, dass es beim Durchfahren eines Kreisverkehrs es zu ähnlichen Kurvenabläufen kommt. Auf den ersten Rechtsbogen folgt ein langer Linksbogen, bis wieder ein kurzer Rechtsbogen kommt. Jedoch kommt es bei einem Kreisverkehr normalerweise zu höheren Querschleunigungen, da die Kurvenradien für gewöhnlich kleiner sind. Weiters soll erwähnt werden, dass diese Mittelinsel eine eher geringe Versatztiefe hat. Bei einer Insel mit größerem Versatz ist zu erwarten, dass es zu höheren Querschleunigungen kommt als vergleichsweise bei einer Insel wie in Abbildung 33 ersichtlich.

2.3.4. kurviger Landstraßenabschnitt

Anhand dieses Versuches wird gezeigt, wie sich die Querbeschleunigungen verhalten, wenn man eine etwas längere Landstraßenfahrt durchfährt. Bei der gewählten Landstraße (L120-Tullner Straße, Wien) handelt es sich um eine Strecke mit zahlreichen Serpentin und einer geschätzten durchschnittlichen Steigung von circa 5%. Die Geschwindigkeit betrug je nach den Kurvenverhältnissen zwischen 50 und 100 km/h. Die Versuchsdauer belief sich auf 500 Sekunden.

Fahrbahn: Asphalt, mäßig gute Fahrbahnoberfläche; Fahrbahnverhältnisse: trocken



Abbildung 35: Teilabschnitt der Versuchsstrecke, Quelle: Google Maps am 10.12.2011

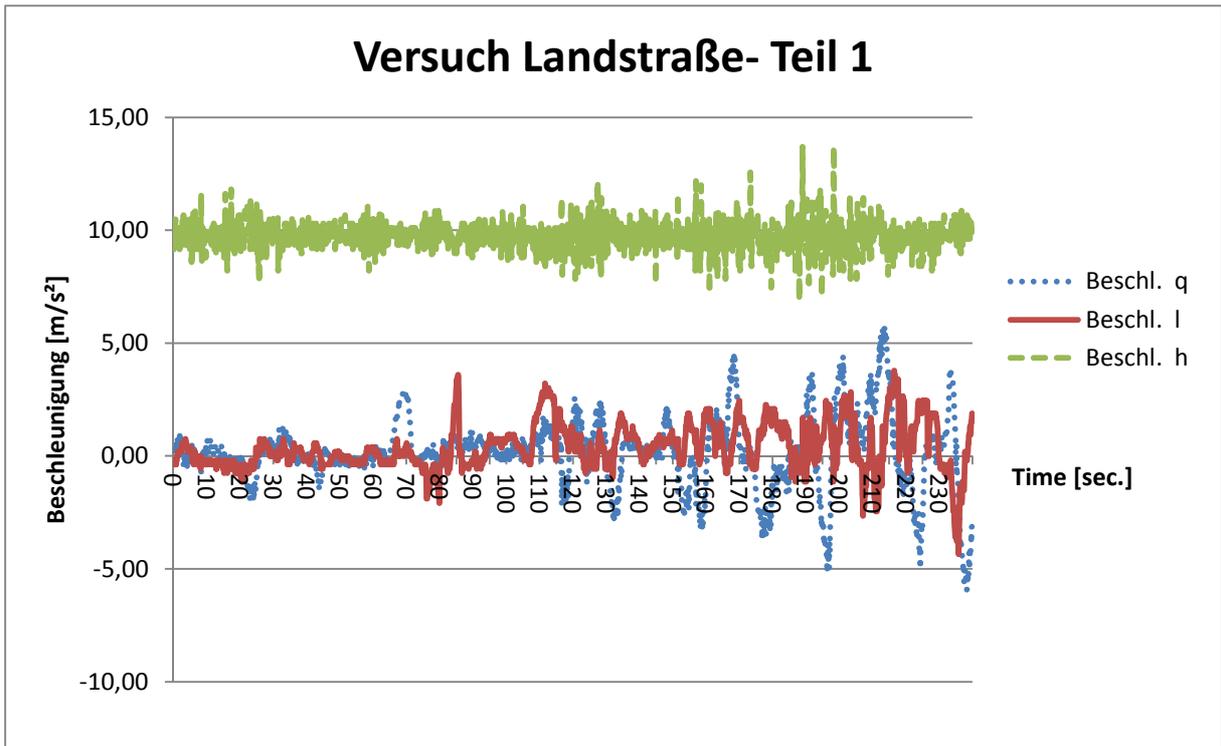


Abbildung 36: Versuch Landstraße- Teil 1

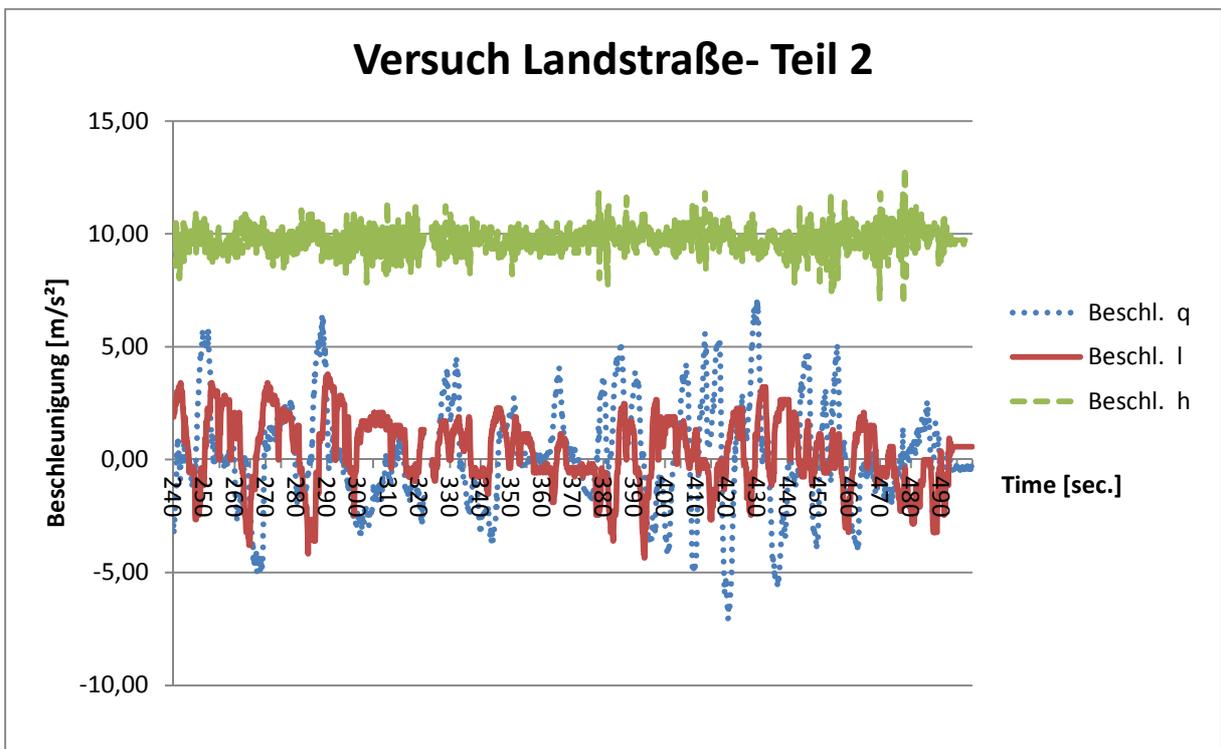


Abbildung 37: Versuch Landstraße- Teil 2

Um die obenstehenden Diagramme besser veranschaulich zu machen, folgend zwei Teilausschnitte aus der Versuchsfahrt.

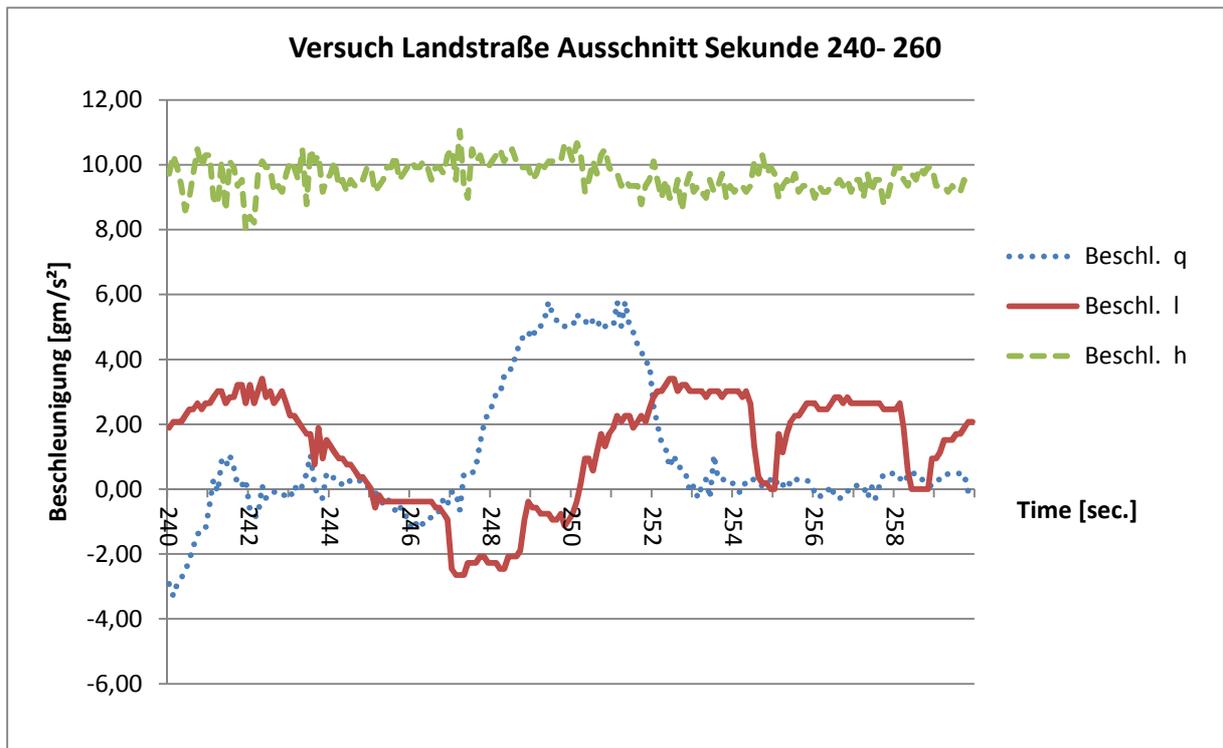


Abbildung 38: Ausschnitt Sekunde 240-260

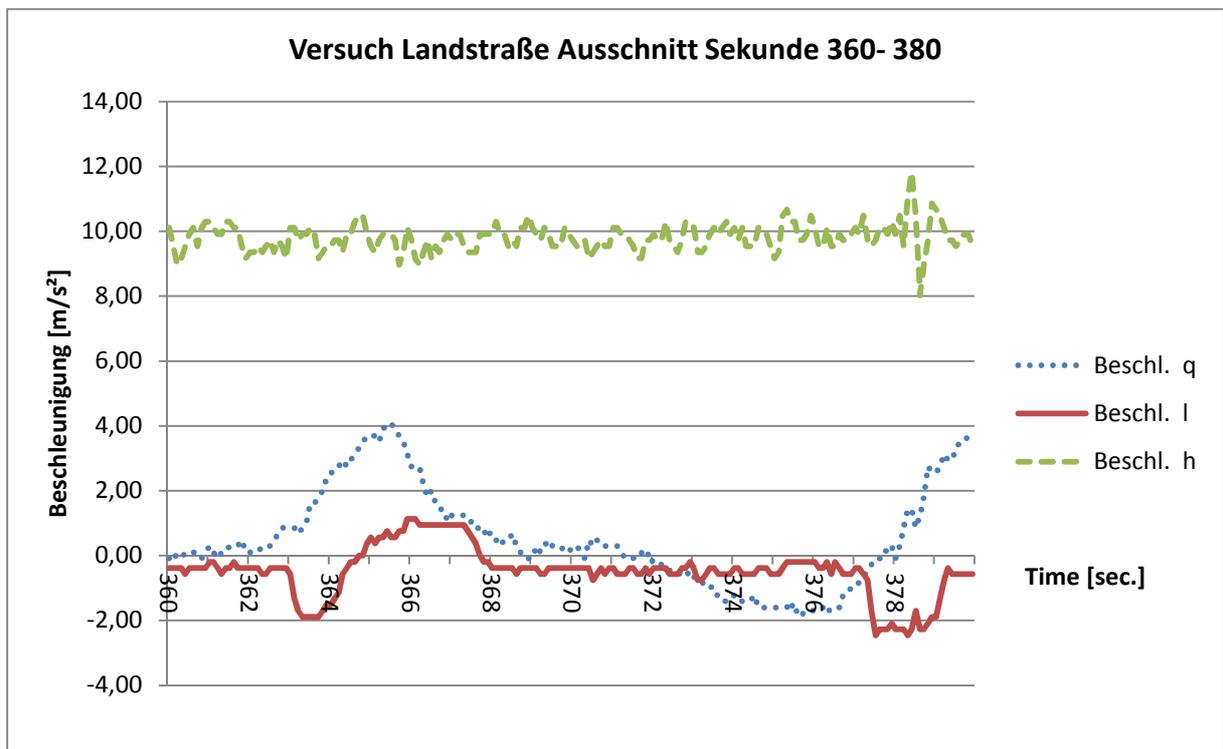


Abbildung 39: Ausschnitt Sekunde 360-380

Tabelle 5: Ergebnisse Versuch Landstraße

Ergebnisse- Versuch Landstraße (Querschleunigung)	
Mittelwert [m/s ²]	0,14
Standardabweichung [m/s ²]	2,02
Varianz [m/s ²]	4,07
Minimalwert [m/s ²]	-7,08
Maximalwert [m/s ²]	7,10

Der Mittelwert ist, wie zu erwarten, nahe an null. Das Minimum und das Maximum liegt jeweils bei circa 7 m/s². Zu bedenken ist allerdings, dass die Landstraße zügiger durchfahren wurde, als es normalerweise üblich ist.

Interpretationen zur Quer- und Hochbeschleunigung aus den Querschleunigungsversuchen:

Hochbeschleunigung: zwischen den Beschleunigungen in Querrichtung und den Beschleunigungen in Hochrichtung ist kein Zusammenhang erkennbar.

Längsbeschleunigung: zwischen den Beschleunigungen in Querrichtung und den Beschleunigungen in Längsrichtung ist ebenso kein Zusammenhang erkennbar.

2.4. Versuche zur Vertikalbeschleunigung (Hochbeschleunigung)

Dabei handelt es sich genau genommen um die Beschleunigung gemessen in Fahrzeug-Hochachsenrichtung.

2.4.1. Kopfsteinpflaster

Der Versuch wurde auf der Höhenstraße (Wien) durchgeführt. Bei der Fahrbahndecke handelt es sich um Granitsteine, welche im „Segmentbogenverband“ verbaut sind. Die Dimension der Pflastersteine: Kleinsteinpflaster (9x9 cm).



Abbildung 40: Pflastersteine der Versuchsstrecke, Kleinpflaster (9x9 cm)

Zur Versuchsdurchführung: Es wurde mit dem Pkw die obengenannte Straße mit einer annähernd konstanten Geschwindigkeit von 50 km/h befahren. Auf rasche und ruckartige Fahrmanöver wurde verzichtet, um Einflüsse (mit Ausnahme der Vertikalvibrationen durch das Pflaster) auf die Hochbeschleunigung zu vermeiden. Die komplette Dauer des Versuches beläuft sich auf 137 Sekunden.

Fahrbahn: Kopfsteinpflaster; Fahrbahnverhältnisse: trocken



Abbildung 41: auf dem linken Bild die Versuchsstrecke und dem rechten Bild die Pflasterdecke

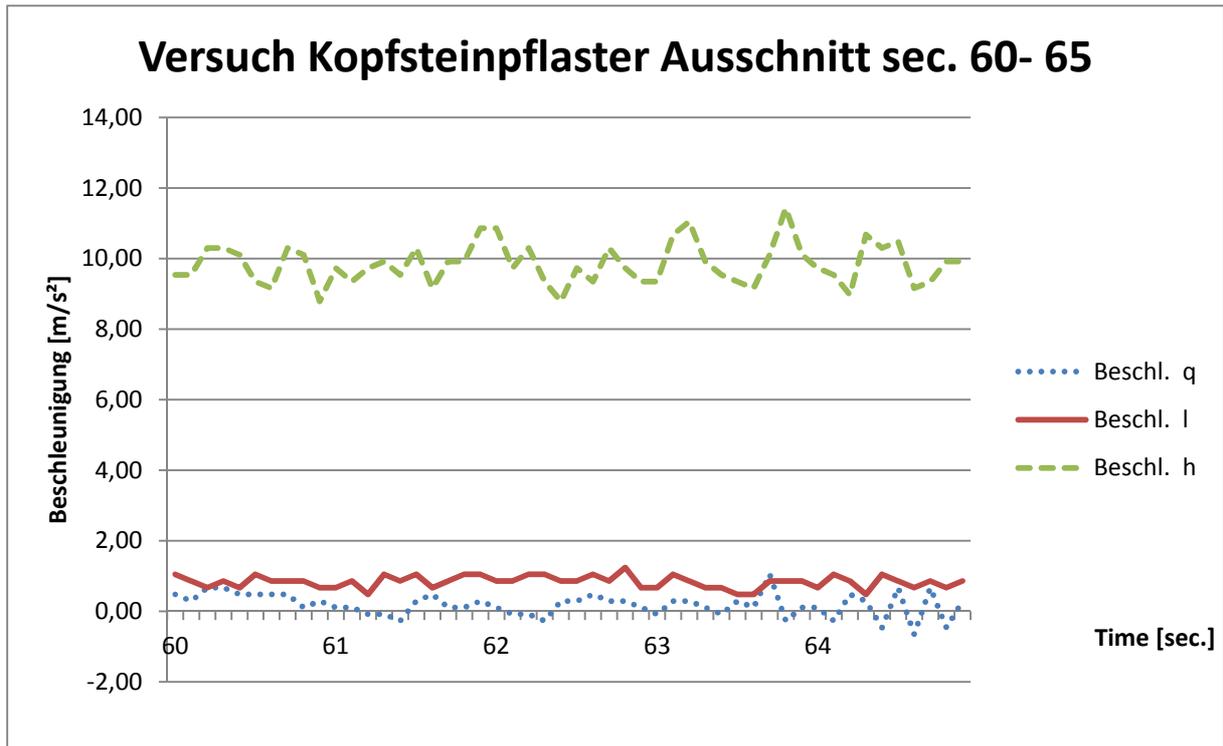


Abbildung 42: Ausschnitt über die Versuchsfahrt- Sekunde 60- 65

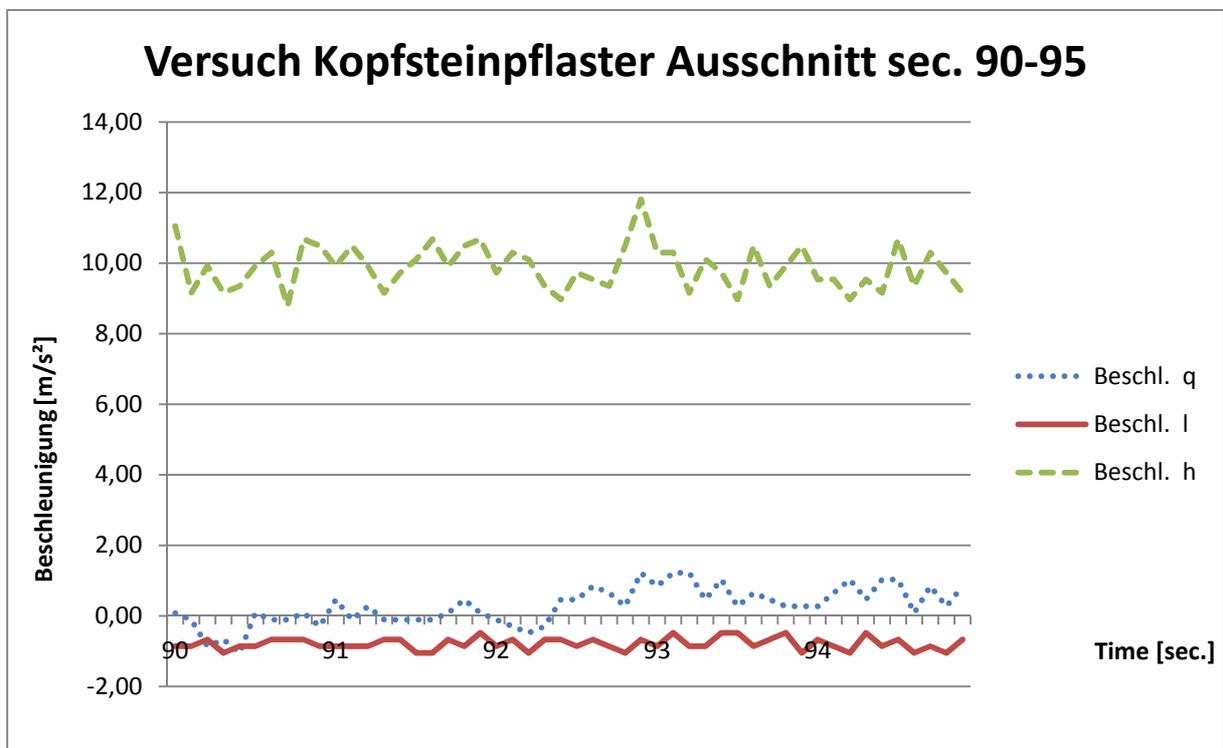


Abbildung 43: Ausschnitt über die Versuchsfahrt- Sekunde 90- 95

Ergebnisse: Auffällig an dem Versuch ist, dass sich die durchschnittliche Hochbeschleunigung mit $9,83 \text{ m/s}^2$ sehr nahe an der ständig wirkenden Erdanziehungskraft ($9,81 \text{ m/s}^2$) liegt. Auch die geringe Standardabweichung und die geringe Varianz zeigen, dass die Werte eine geringe Streuung aufweisen. Aufgrund der Dämpfung des Fahrzeuges war dies zu erwarten.

Tabelle 6: Ergebnisse der Hochbeschleunigung im Kopfsteinpflasterversuch

Ergebnisse- Vertikalbeschleunigung Kopfsteinpflaster	
Mittelwert [m/s^2]	9,83
Standardabweichung [m/s^2]	0,63
Varianz [m/s^2]	0,40
Maximalwert [m/s^2]	12,37
Minimalwert [m/s^2]	7,84

2.4.2. Autobahn

Der Versuch auf der Autobahn soll zeigen, wie die Beschleunigung in Hochrichtung aussieht und ob Unterschiede zu anderen Fahrbahndecken erkennbar sind. Teil eins des Versuches zeigt die Befahrung auf einer Autobahn mit Betondecke, Teil zwei das Fahren auf einer Asphaltdecke. Beide Versuche wurden an einem Teilstücke an der A1 (von Wien kommend Richtung Linz) mit der erlaubten Höchstgeschwindigkeit von 130 km/h durchgeführt. Die Versuchsdauer beträgt bei der Betondecke 149 Sekunden und bei der Asphaltdecke 238 Sekunden.

Fahrbahn: Asphalt/ Beton; Fahrbahnverhältnisse: trocken.

2.4.2.1. Betondecke

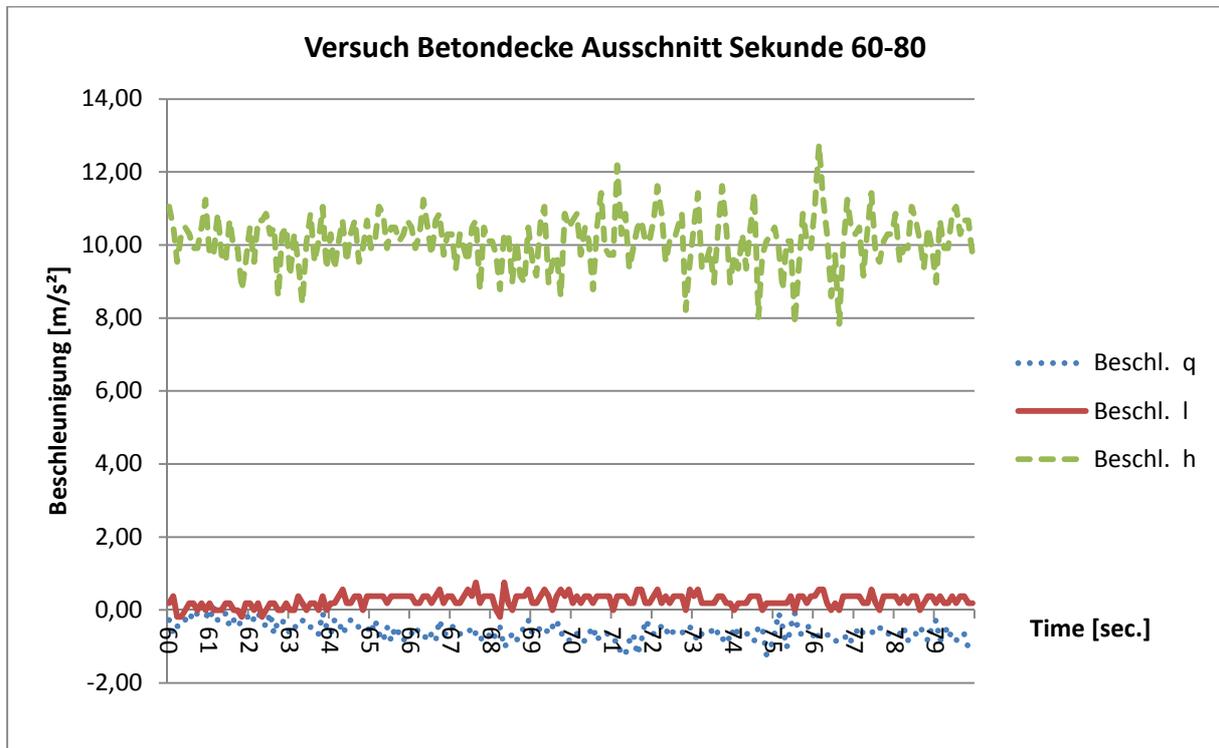


Abbildung 44: Ausschnitt aus dem Versuch- Befahren einer Autobahn mit Betonfahrbahn; Darstellung der Sekunde 60- 80

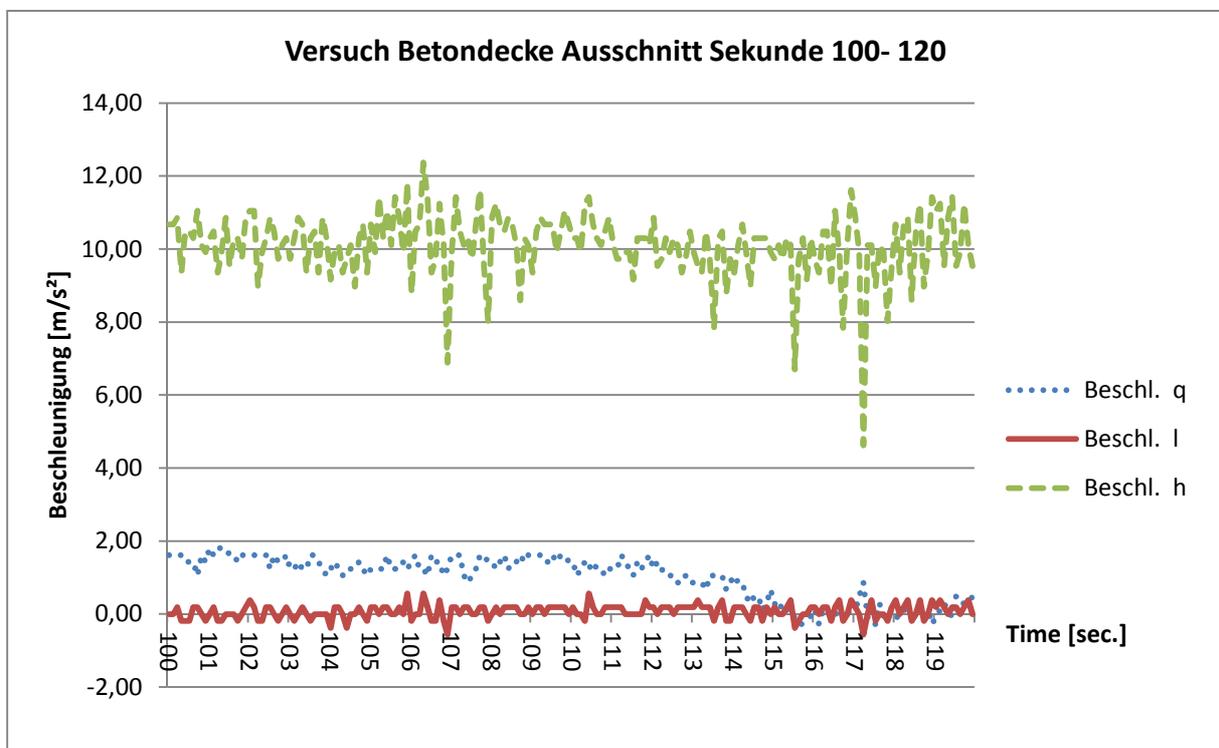


Abbildung 45: Ausschnitt aus dem Versuch- Befahren einer Autobahn mit Betonfahrbahn; Darstellung der Sekunde 100- 120

Tabelle 7: Ergebnisse der Hochbeschleunigung im Autobahnversuch mit Betondecke

Ergebnisse- Versuch Autobahn mit Betondecke	
Mittelwert [m/s ²]	10,07
Standardabweichung [m/s ²]	0,88
Varianz [m/s ²]	0,77
Minimalwert [m/s ²]	4,62
Maximalwert [m/s ²]	14,64

2.4.2.2. Asphaltdecke

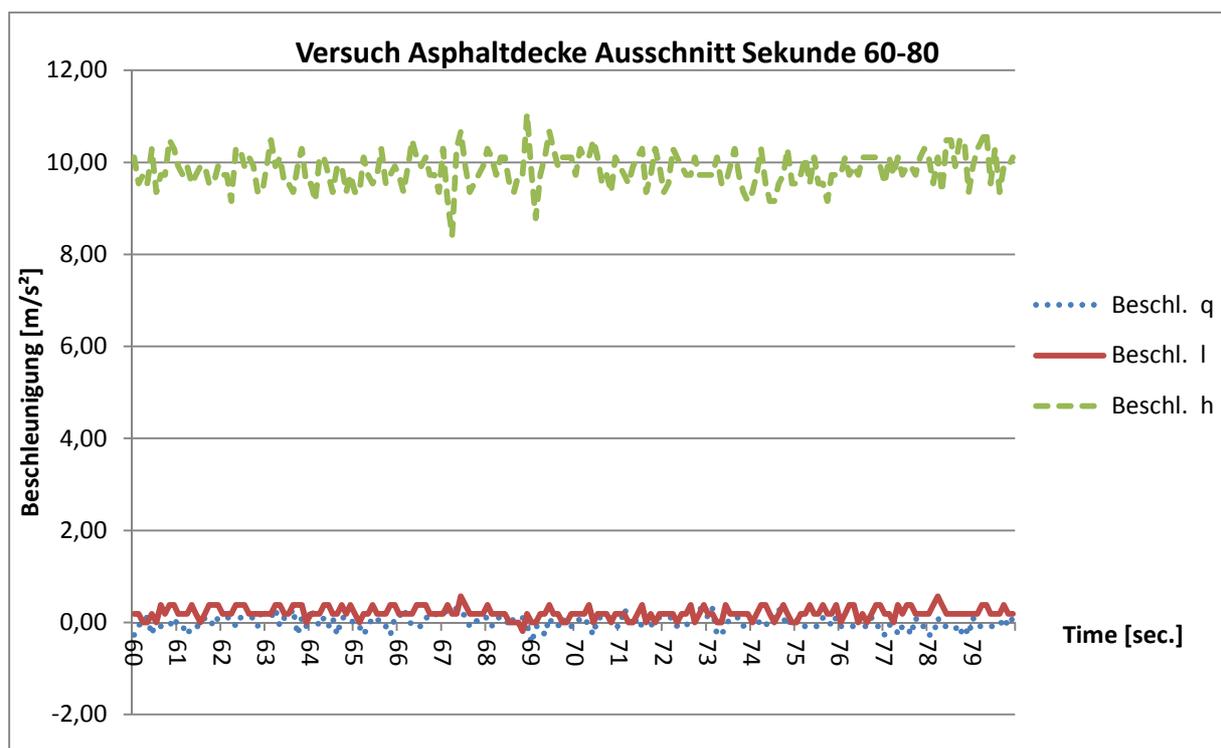


Abbildung 46: Ausschnitt aus dem Versuch- Befahren einer Autobahn mit Asphaltfahrbahn- Darstellung der Sekunde 60- 80

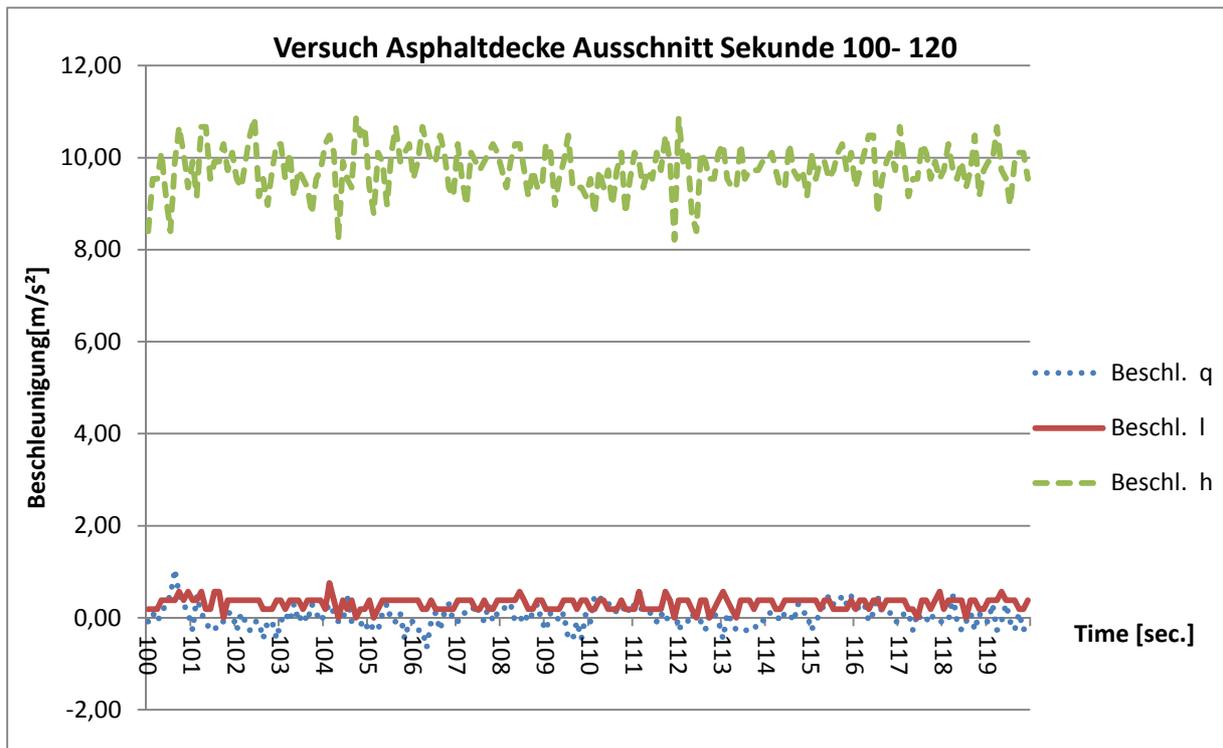


Abbildung 47: Ausschnitt aus dem Versuch- Befahren einer Autobahn mit Asphaltfahrbahn-Darstellung der Sekunde 100- 120

Tabelle 8: Ergebnisse der Hochbeschleunigung im Autobahnversuch mit Asphaltdecke

Ergebnisse- Versuch Autobahn mit Asphaltdecke	
Mittelwert [m/s^2]	9,77
Standardabweichung [m/s^2]	0,46
Varianz [m/s^2]	0,21
Minimalwert [m/s^2]	7,46
Maximalwert [m/s^2]	12,00

Ergebnisse Autobahn: Diese Versuche dienen der Beschreibung der Hochbeschleunigung auf der Autobahn. Außerdem ob sich ein Unterschied erkennen lässt, ob man auf einer Asphalt- oder Betonfahrbahn unterwegs ist.

A) Ausschnitte aus der Hochbeschleunigung auf Beton.

Betondecken haben eine maximale Feldlänge von 6 m. Fährt man nun auf der Autobahn mit der erlaubten Höchstgeschwindigkeit von 130 km/h (36,1 m/s), so müsste man pro Sekunde 6 Fugen überfahren.

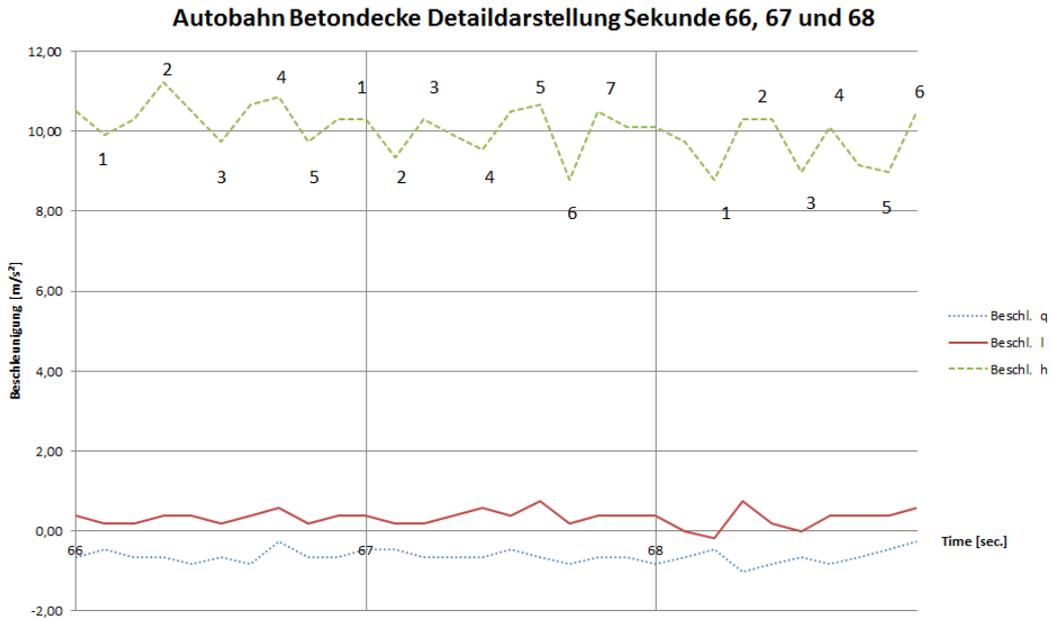


Abbildung 48: Ausschnitt Betonfahrbahn Sekunde 66, 67 und 68

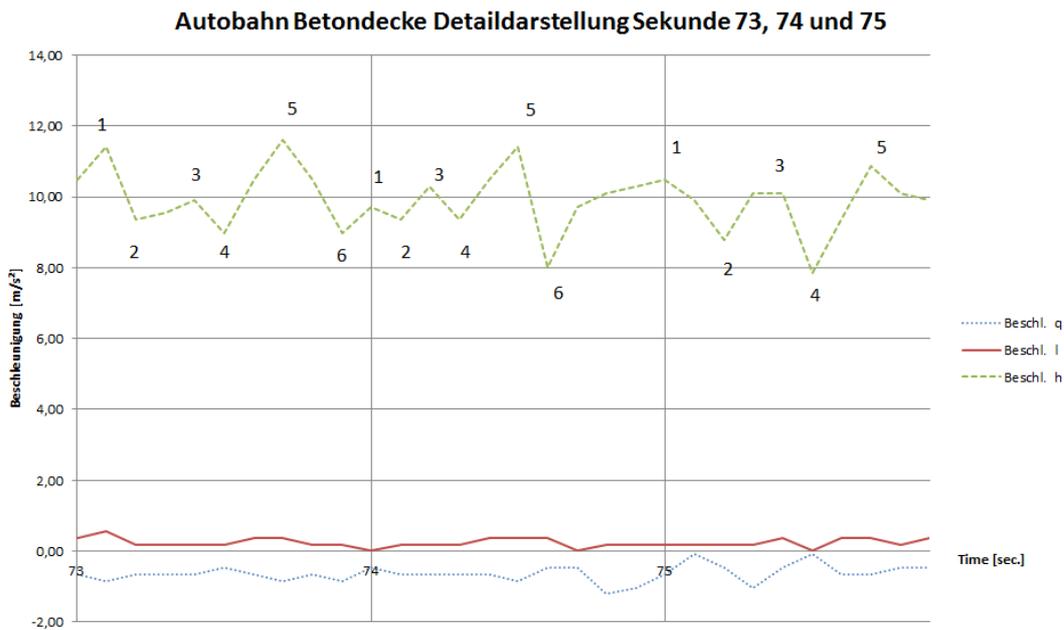


Abbildung 49: Ausschnitt Betonfahrbahn Sekunde 73, 74 und 75

B) Ausschnitte aus der Hochbeschleunigung auf Asphalt.

Da bei einer Asphaltfahrbahn diese Fugen nicht auftreten, sollten aus diesem Grund auch die Ausschläge der Hochbeschleunigung nicht so stark und häufig hervortreten.

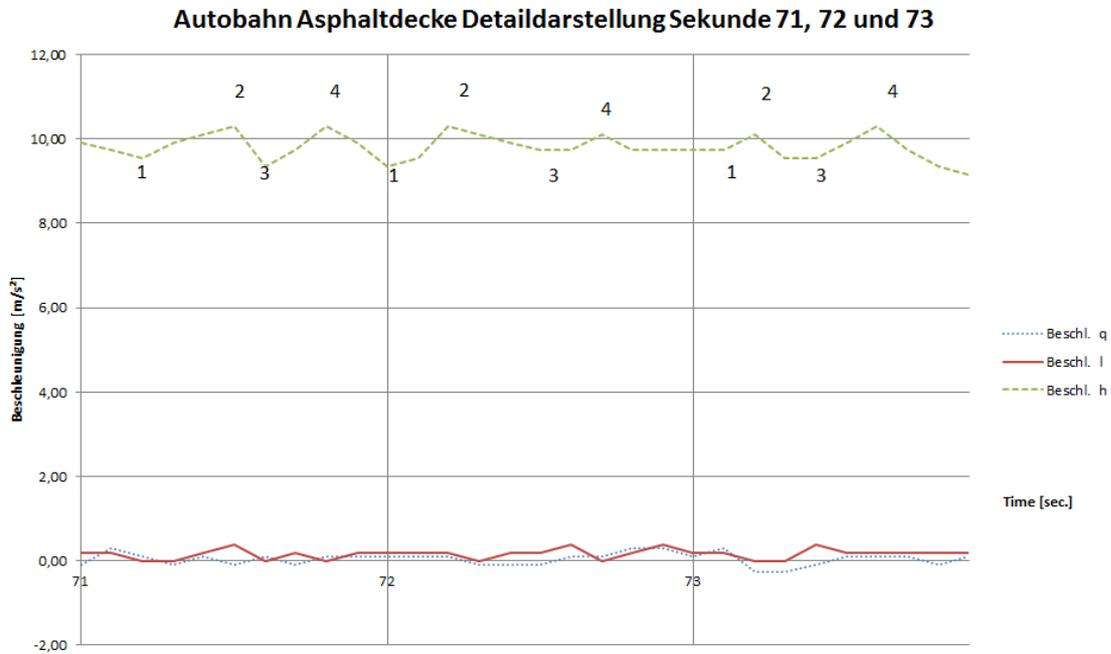


Abbildung 50: Ausschnitt Asphaltfahrbahn Sekunde 71, 72 und 73

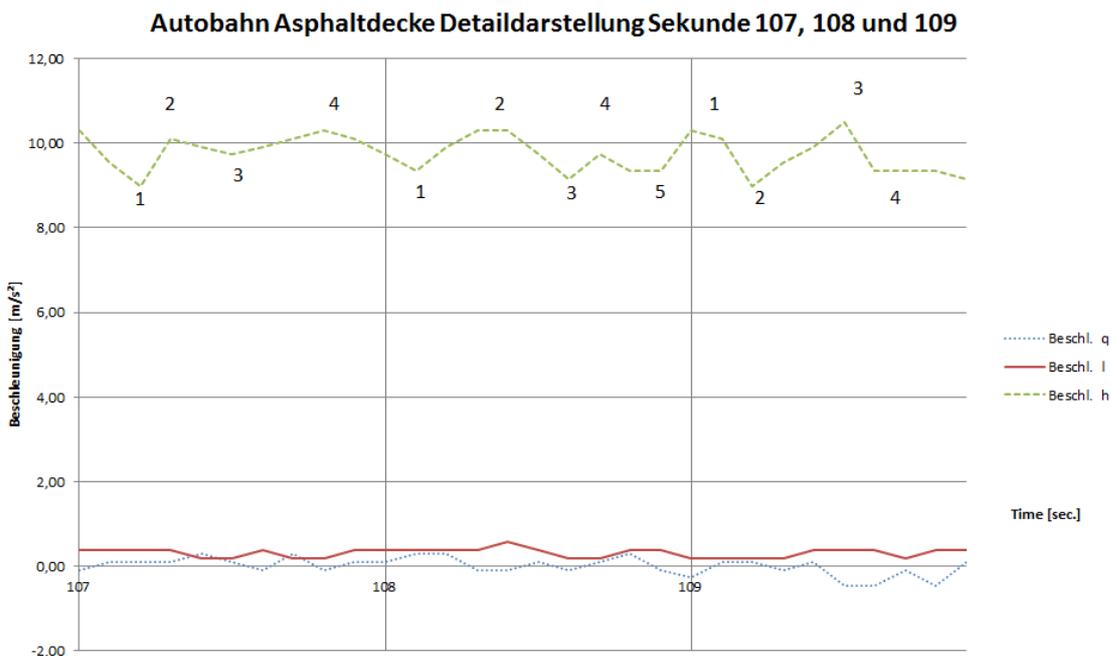


Abbildung 51: Ausschnitt Asphaltfahrbahn Sekunde 107, 108 und 109

Der Unterschied zwischen diesen beiden Fahrbahnoberflächen, liegt darin, dass es bei der Betondecke zu deutlich größeren Ausschlägen kommt als auf der Asphaltfahrbahn. Standardabweichung und Varianz sind bei der Betondecke deutlich höher als bei einer Decke aus Asphalt (vgl. Tabelle 8 und 9). Die relativen Beschleunigungsunterschiede zwischen Steigen und Fallen der Hochbeschleunigung pro Zeiteinheit ist auch bei der Betondecke höher. Bei der Betondecke kommt es zu ca. 6 Ausschlägen pro Sekunde (bei 130 km/h Fahrgeschwindigkeit), während es bei der Asphaltdecke lediglich ca. 4 Ausschläge sind. Zu beachten ist jedoch, dass dieser Wert stark abhängig ist von der Fahrgeschwindigkeit und der Feldlänge und auch der generellen Fahrbahnbeschaffenheit.

Durch die gute Stoßdämpfung, welche moderne Autos aufweisen, kommt die Hochbeschleunigung nur sehr abgemindert zum Vorschein. Ob man anhand der Hochbeschleunigung bei einem Auto Aussagen über den Fahrbahnzustand beziehungsweise den Fahrbahnbelag machen kann, wird in Kapitel 3 genauer untersucht.

2.4.3. Straßenbahntrasse mit Betonfahrbahn

Der Versuch wurde in der Gersthoferstraße durchgeführt. Die Fahrt ging von Pötzeleinsdorf kommend Richtung Gersthof. Die durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit belief sich auf ca. 50 km/h. Dauer des Versuches 39 Sekunden.

Fahrbahn: Betonfelder der Gleistrasse; Fahrbahnverhältnisse: trocken.

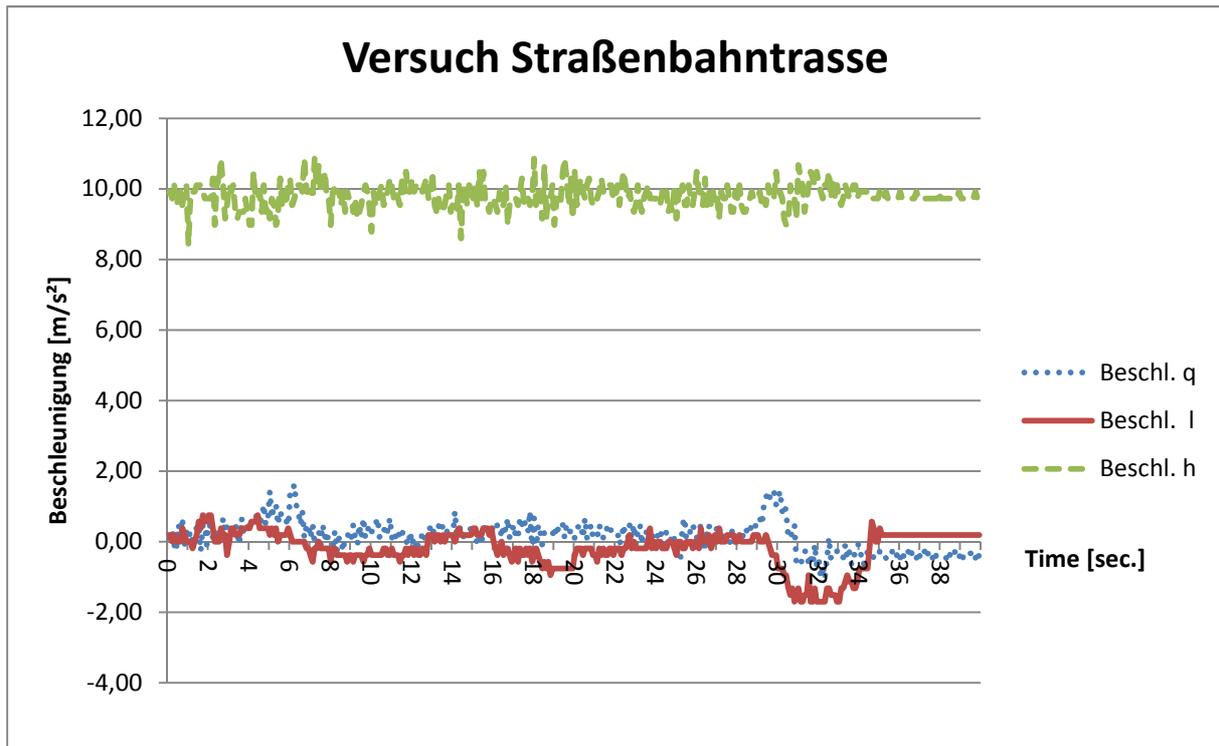


Abbildung 52: Versuch Straßenbahntrasse



Abbildung 53: Die Versuchsstrecke, Gersthoferstraße in 1180 Wien

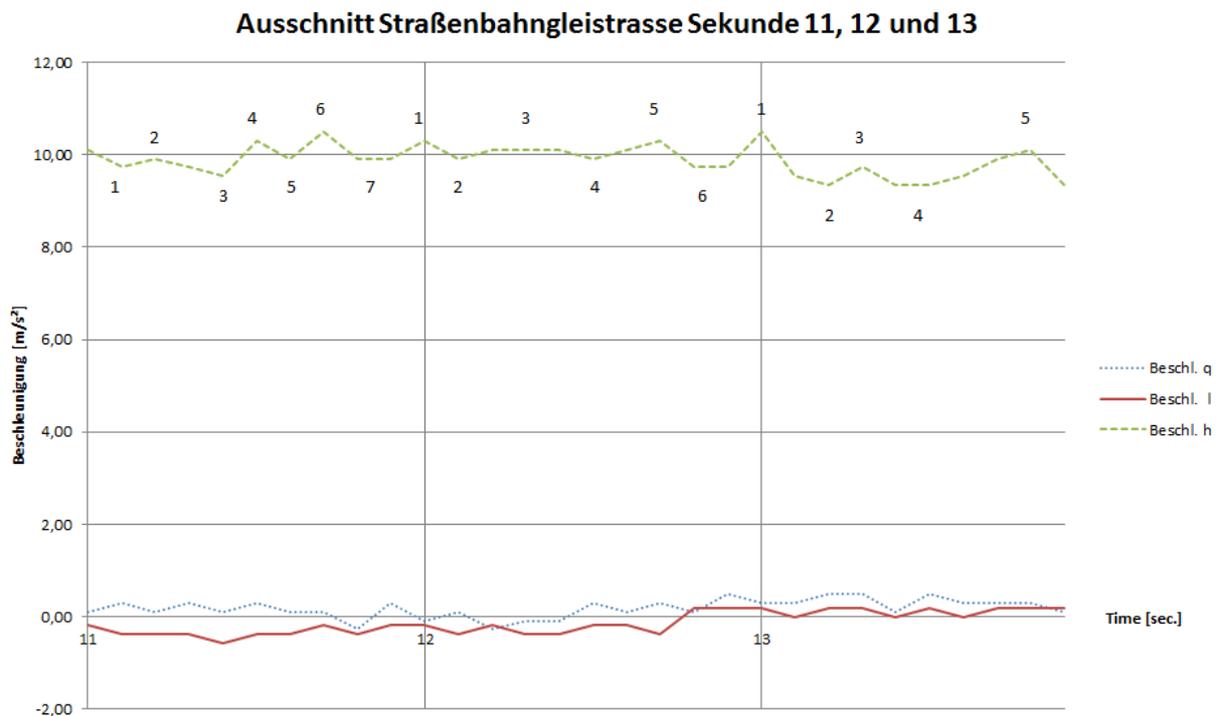


Abbildung 54: Versuch Straßenbahngleistrasse Sekunde 11,12 und 13

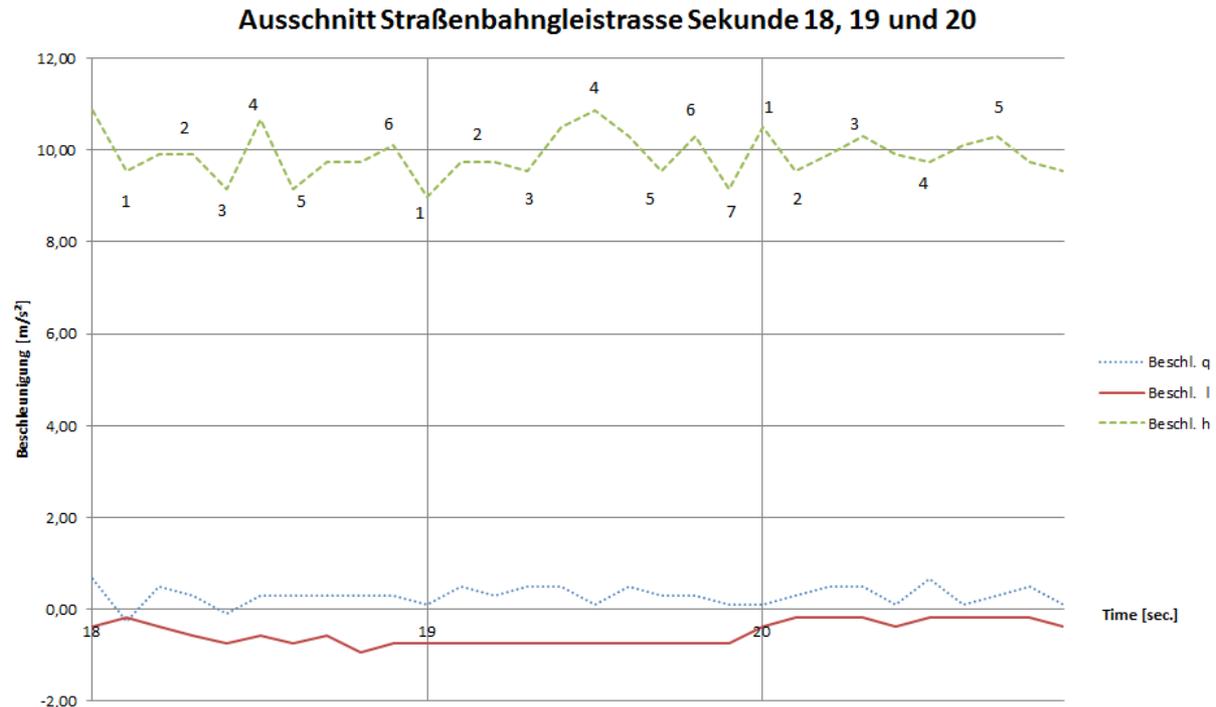


Abbildung 55: Versuch Straßenbahngleistrasse Sekunde 18,19 und 20

Erläuterung zu Abbildung 54 und Abbildung 55:

Die Hochbeschleunigung dieses Versuches ähnelt sehr dem Beschleunigungsbild der Autobahnversuche. Mit der durchschnittlichen Geschwindigkeit von 50 km/h legt man pro Sekunde 13,8m zurück. Die einzelnen Betonelemente der Gleistrasse sind unterschiedlich lang, weisen jedoch eine durchschnittliche Länge von circa 4m auf. Die Gleisfugen sind nicht über die Fahrstreifenbreite durchgehend, sondern sind versetzt, sodass man beim Durchfahren einer Strecke von 12- 14m nicht 3 Fugen sondern ca. 6 Fugen überfährt (siehe Abbildung 53). Vergleicht man das mit der Hochbeschleunigung der Abbildung 54 und der Abbildung 55 kann man die einzelnen Fugen erahnen (durchschnittlich 6 Erhebungen/ Senkungen in die Hochrichtung pro Sekunde. Man sollte jedoch bedenken, dass jede kleine Erhebung oder Senkung in der Fahrbahn ein ähnliches Erscheinungsbild ergeben würde.

Der Versuch zeigt eindeutige Ausschläge in die Hochrichtung, welche mit großer Wahrscheinlichkeit den Fugen in der Straßenbahntrasse zugeordnet werden können. Der Mittelwert der Vertikalbeschleunigung liegt sehr nah an der Erdbeschleunigung. Varianz und Standardabweichung sind sehr gering. Verglichen mit den Autobahnversuchen verhält sich Hochbeschleunigung dieses Versuchs deutlich ruhiger. Generell ist davon auszugehen, dass

man bei einer Fahrt anhand der Vertikalbeschleunigung nicht auf die Untergrundergebnisse schließen kann. Genauere Untersuchungen dazu jedoch in Kapitel 3.

Tabelle 9: Ergebnisse der Vertikalbeschleunigung im Straßenbahntrassenversuch

Ergebnisse- Versuch Straßenbahntrasse	
Mittelwert [m/s ²]	9,80
Standardabweichung [m/s ²]	0,36
Varianz [m/s ²]	0,13
Minimalwert [m/s ²]	8,40
Maximalwert [m/s ²]	10,86

2.4.4. Überfahren einer Fahrbahnanhebung

Bei diesem Versuch soll gezeigt werden, sich die Hochbeschleunigung beim Überfahren einer Bodenwelle verhält. Die Erhöhung der Welle beträgt ca. 10cm. Die Fahrbahnanhebung befindet sich am Türkenschanzplatz/ Wien. Die Fahrbahnanhebung wurde mit Schrittgeschwindigkeit überfahren.

Geometrie der Rampe:

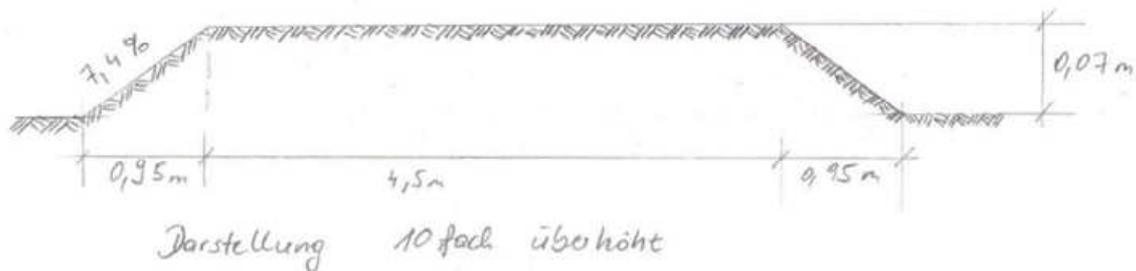


Abbildung 56: Skizze mit den Abmessungen der Rampe (Gesamtlänge 6,5m; 7,4% Rampenneigung)

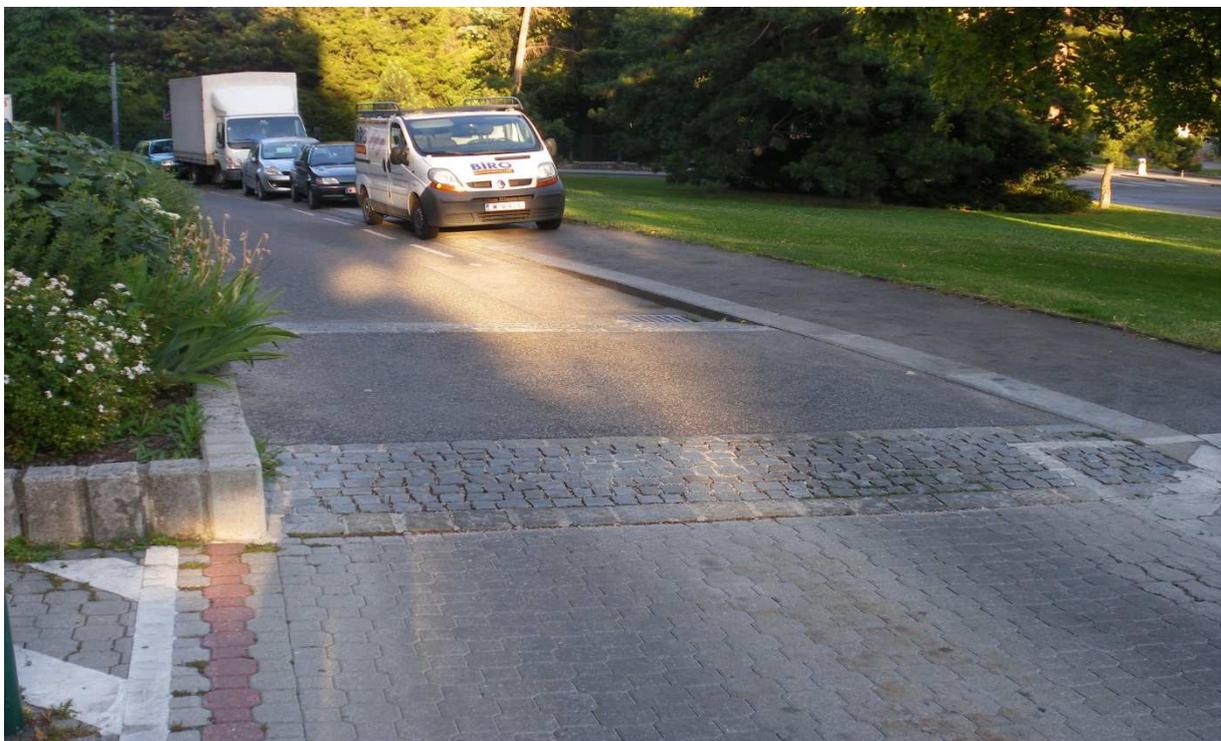


Abbildung 57: Fahrbahnanhebung, Wien Türkenschanzplatz

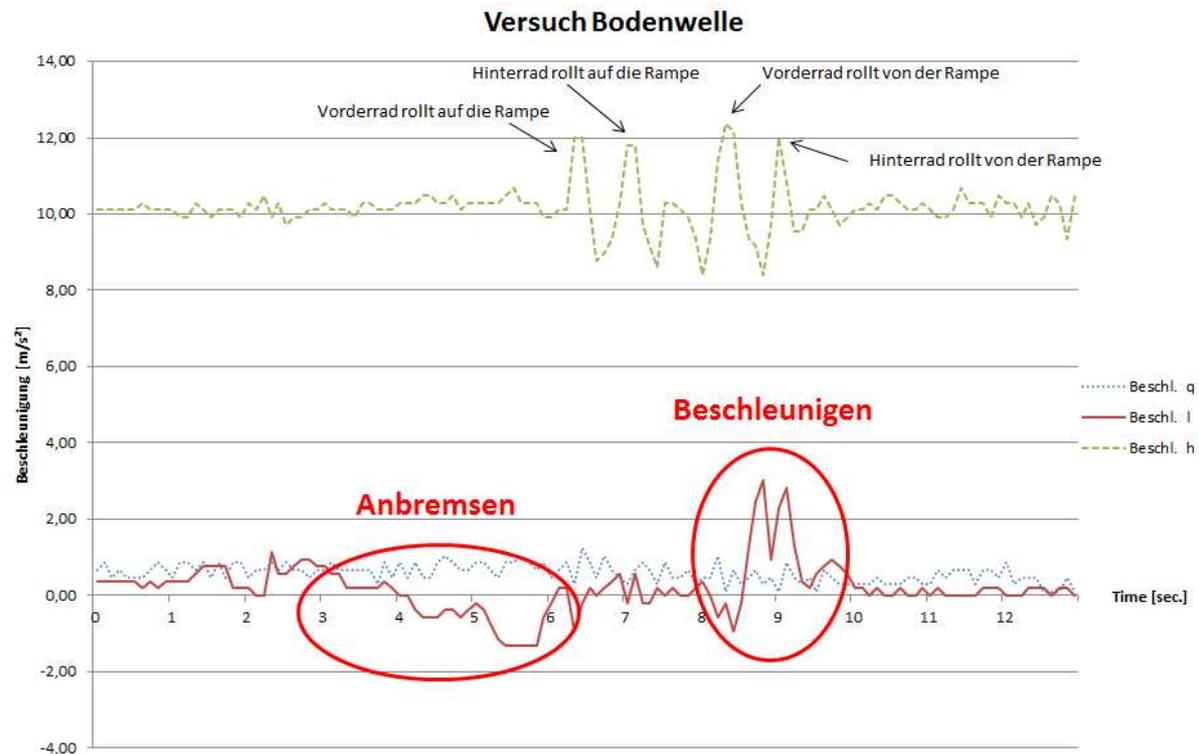


Abbildung 58: Auswertung des Versuchs- Überfahren einer Fahrbahnanhebung

Es ist eindeutig zu sehen, wie die einzelnen Achsen des Fahrzeuges die Rampen passieren. Die relative Beschleunigung der Hochachse reicht bis $2,56 \text{ m/s}^2$. Dies entspricht auch dem Schwankungsbereich einer Asphaltdecke, Betondecke oder einer Straßenbahntrasse. Das Überfahren einer Rampe bekommt man zwar deutlich zu spüren, aber es kann bei einer längeren Fahrt über andere Oberflächen zu genau gleichgroßen Ausschlägen kommen. Anhand der Hochbeschleunigung wird eine Fahrbahnanhebung/ Schwelle kaum identifizierbar sein, wenn man nicht weiß, dass es sich dabei um eine Fahrbahnanhebung/Schwelle und nicht um ein Schlagloch, einen Frostaufbruch oder etwas Ähnliches handelt.

Interpretationen zur Quer- und Längsbeschleunigung aus den Hochbeschleunigungsversuchen:

Längsbeschleunigung: Je größer die relativen Beschleunigungen der Hochrichtung, desto größer sind auch die relativen Beschleunigungen der Längsrichtung.

Querbeschleunigung: zwischen den Beschleunigungen in Hochrichtung und den Beschleunigungen in Querrichtung ist kein Zusammenhang erkennbar.

2.5. Sonstige Versuche

2.5.1. Vergleich eines ausgerichteten mit einem ungerichteten Messgerät

Anhand dieses Versuches soll gezeigt werden, wie sich ein ungerichtetes Gerät im Vergleich zu einem ausgerichteten Gerät in Bezug auf die Beschleunigungen verhält. Man kann davon ausgehen, dass eine Testperson, welche ein GPS- Gerät zur Datenaufzeichnung mitnehmen soll, dies nicht in ihrem Fahrzeug ausrichtet. Mit größter Wahrscheinlichkeit wird dieses Gerät in eine Hosentasche, Rucksack, Handtasche oder auf dem Beifahrersitz verstaut. Dabei entsprechen die Gerätekoordinaten nicht den Fahrzeugkoordinaten und die Auswertung wird wesentlich erschwert.

Bei diesem Versuch wurde das ausgerichtete Gerät wie in Abbildung 4 angebracht. Das ungerichtete Gerät wurde in der Hosentasche mitgeführt. Vor dem Beginn des Versuches wurden die Geräte zeitgleich eingeschaltet.

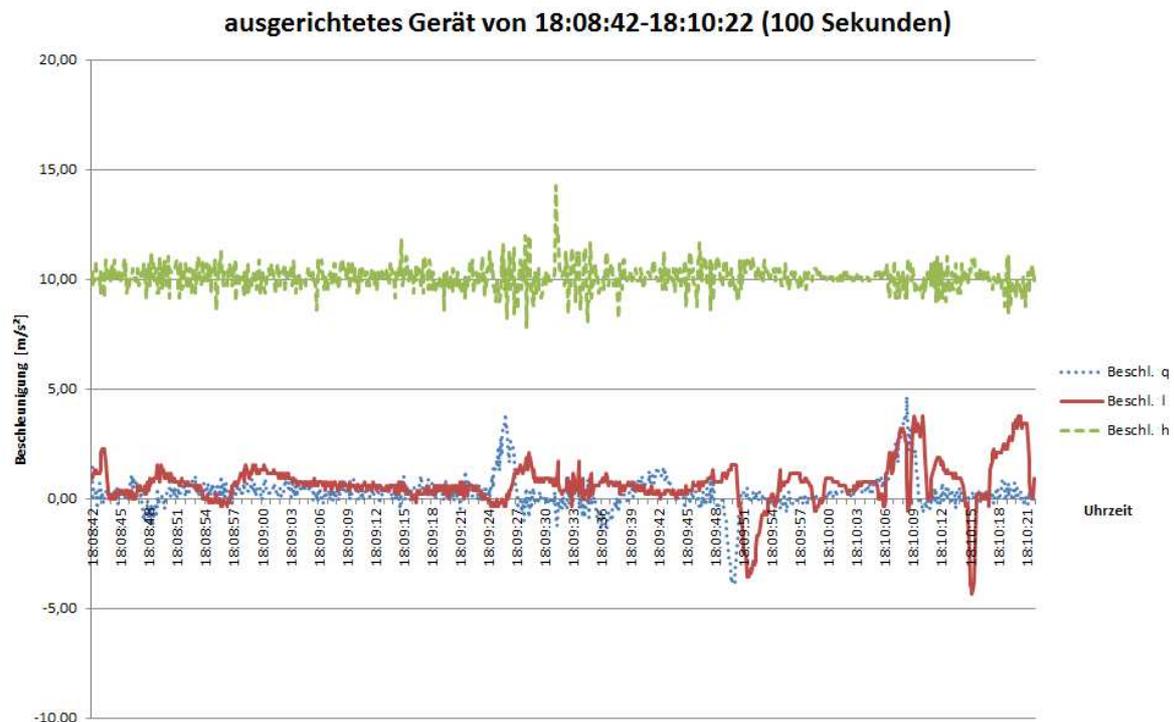


Abbildung 59: Beschleunigung ausgerichtetes Gerät- Ausschnitt von 18:08:42 Uhr bis 18:10:22 Uhr

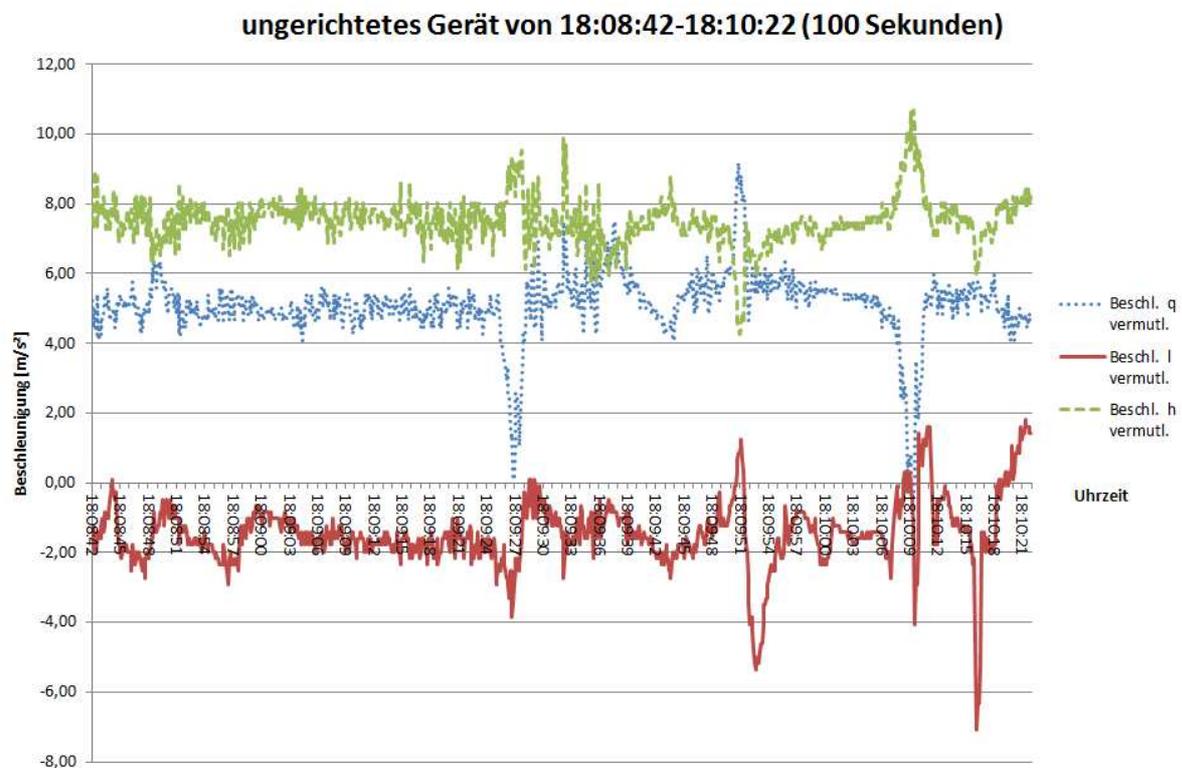


Abbildung 60: Beschleunigung ungerichtetes Gerät- Ausschnitt von 18:08:42 Uhr bis 18:10:22 Uhr

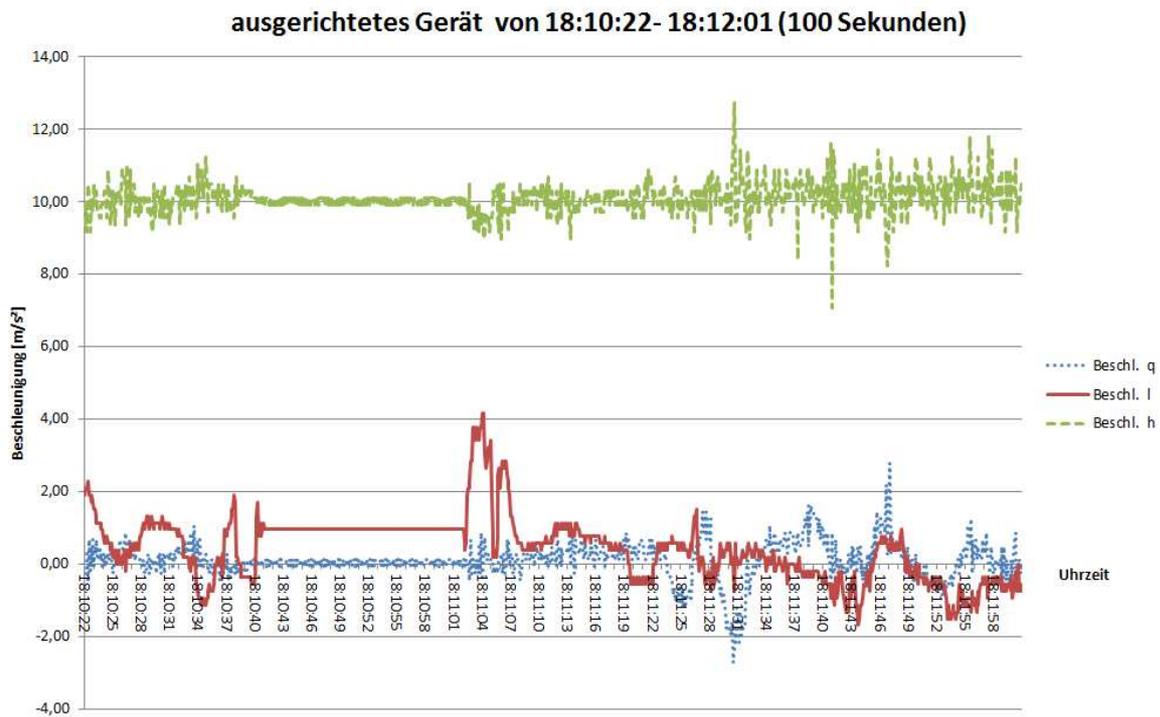


Abbildung 61: Beschleunigung ausgerichtetes Gerät- Ausschnitt von 18:10:22 Uhr bis 18:12:01 Uhr

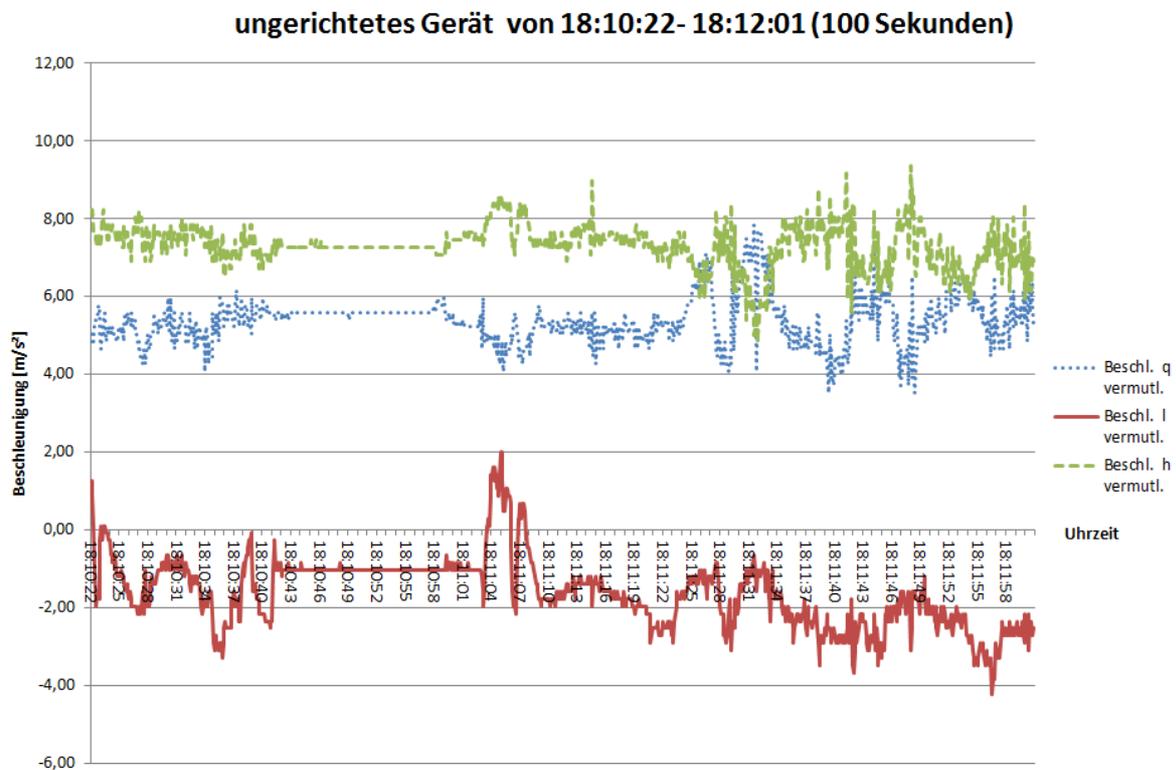


Abbildung 62: Beschleunigung ungerichtetes Gerät- Ausschnitt von 18:10:22 Uhr bis 18:12:01 Uhr

Es ist in diesem Fall eindeutig der Zusammenhang zwischen dem ausgerichteten und dem ungerichteten Gerät erkennbar. Die Bewegungsverläufe sind sowohl am ausgerichteten als auch am ungerichteten Gerät erkennbar. Lediglich die Beschleunigungswerte der einzelnen Richtungen sind untereinander vermischt, wie zum Beispiel bei der Hochbeschleunigung statt eigentlich im Mittel $9,81 \text{ m/s}^2$ auf ca. $7,5 \text{ m/s}^2$. Dies ist bei allen drei Richtungen (hoch, quer und längs) zu beobachten. Auch die maximalen Ausschläge sind gedämpft, was wahrscheinlich auf die Aufbewahrung in der Hosentasche zurück zu führen ist.

In unserem Fall bestand durch die Aufbewahrung in der Hosentasche eine teilweise Ausrichtung. In der Realität ist jedoch eher damit zu rechnen, dass sich die Lage (wenn das Messgerät in einer Handtasche, Rucksack oder im Handschuhfach des Autos aufbewahrt wird) und somit die Achsstellung während einer Fahrt mehrmals ändert. Es ist keine Richtung bekannt.

Eine mögliche Lösung des Problems könnte sein, wenn der verbaute Beschleunigungssensor sich automatisch ausrichten würde (beispielsweise immer nach den Himmelsrichtungen mittels GPS)

→ Vergleich der Resultierenden (R)

Wenn man die Resultierende betrachtet, so sollte diese bei dem ausgerichteten als auch dem ungerichteten Gerät denselben Wert ergeben.

Die Resultierende errechnet sich aus:

$$R = (l^2 + q^2 + h^2)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

Ausschnitte aus der Versuchsfahrt, mit den jeweiligen Resultierenden.

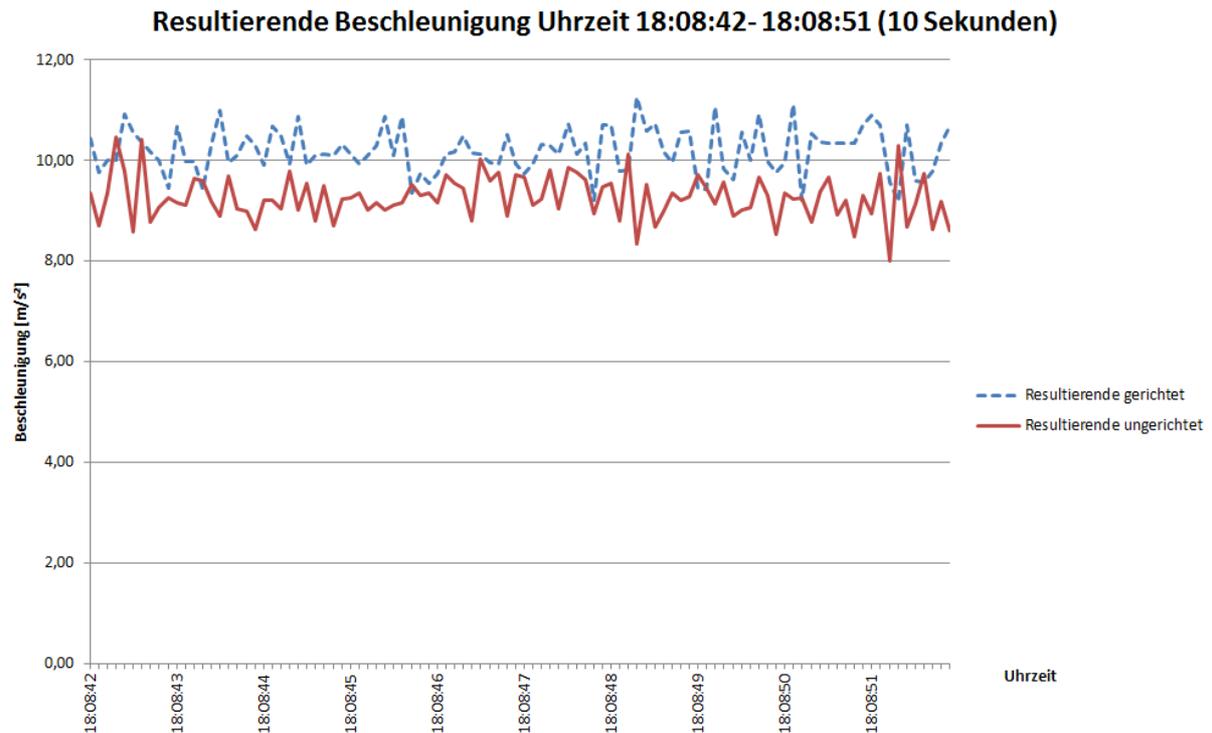


Abbildung 63: Vergleich der Resultierenden- Ausschnitt 18:08:42 Uhr bis 18:08:51 Uhr

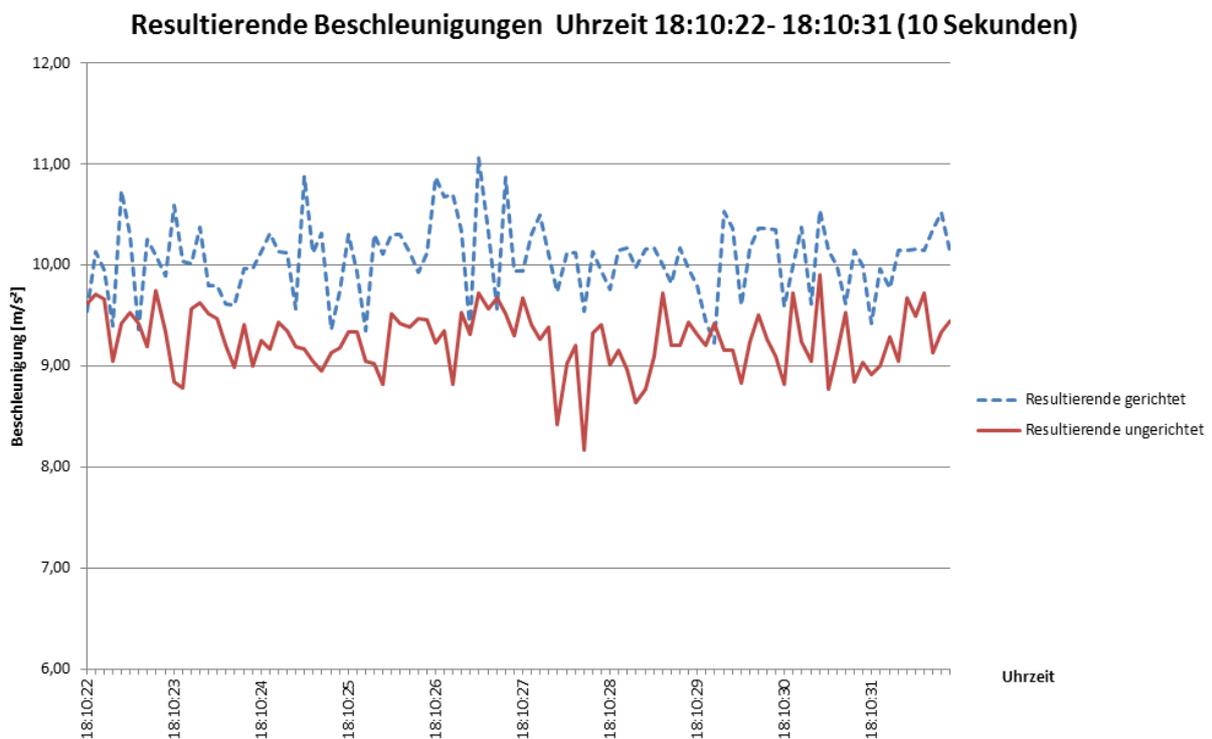


Abbildung 64: Vergleich der Resultierenden- Ausschnitt 18:10:22 Uhr bis 18:10:31 Uhr

Ergebnisse: Wie aus den Diagrammen deutlich hervorgeht, ist die Resultierende über das gerichtete Messgerät mit der Resultierenden des ungerichteten Messgerätes nicht ident.

Mögliche Gründe dafür könnten sein:

- Nicht exaktes zeitgleiches einschalten der Messgeräte
- Dass die 10 Hertz-Messung zu ungenau ist, und es deswegen zu Abweichungen der Resultierenden kommt
- Eine Dämpfung und Abschwächung des Signals aufgrund der Aufbewahrung in der Hosentasche
- Verwischung der Spitzen und Vorzeichenwechsel durch Quadrat und Wurzel

Der Logik nach, ist die Aufbewahrung in der Hosentasche der Hauptgrund für die Abweichung der Werte. Vermutlich ist eine Aufbewahrung in einem Rucksack, einer Handtasche oder dem Beifahrersitz ähnlich abschwächend für die Signale des Beschleunigungssensors.

Auffallend ist, dass die Resultierende des ungerichteten Gerätes über die gesamte Versuchsdauer geringer ist als die des gerichteten Gerätes.

Vergleich der Statistischen Werte:

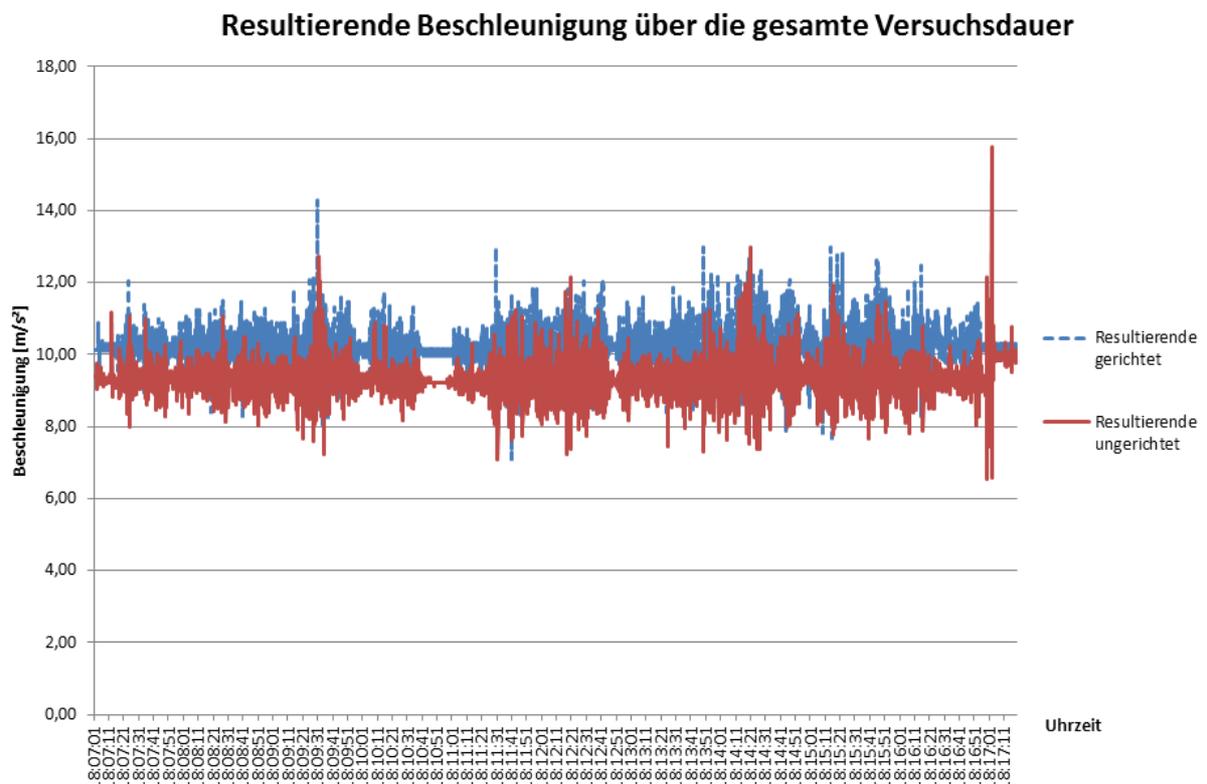


Abbildung 65: blaue Kurve- Resultierende Beschleunigung ausgerichtetes Gerät, rote Kurve- Resultierende Beschleunigung ungerichtetes Gerät

Tabelle 10: statistische Auswertung des ausgerichteten und des ungerichteten Gerätes. Die Zuordnung der Werte in die Hoch, Quer und Längsrichtung des ungerichteten Gerätes konnte nur Anhand des Vergleiches mit den Beschleunigungskurven des gerichteten Gerätes erfolgen

	Geräteanbringung	Beschleunigungen in m/s ²			
		quer	längs	hoch	resultierend
Mittelwerte	ungerichtet	4,81	-1,69	7,11	9,34
	gerichtet	0,19	0,28	10,14	10,21
Standardabweichungen	ungerichtet	2,70	1,26	1,44	0,50
	gerichtet	0,85	0,98	0,53	0,52
Varianzen	ungerichtet	7,27	1,59	2,08	0,25
	gerichtet	0,73	0,97	0,28	0,27
Minima	ungerichtet	-10,48	-15,59	-5,59	6,54
	gerichtet	-5,57	-4,35	7,08	7,11
Maxima	ungerichtet	11,07	3,89	12,37	15,77
	gerichtet	5,97	4,16	14,26	14,30
Max. Amplituden	ungerichtet	21,55	19,47	17,96	9,23
	gerichtet	11,53	8,51	7,18	7,19

Wie aus den Ergebnissen deutlich zu entnehmen ist, liegt der Mittelwert der Resultierenden des ausgerichteten Gerätes um 1 m/s² höher als der des ungerichteten Gerätes. Standardabweichung und Varianz der Resultierenden sind nahezu ident. Betrachtet man allerdings die Gerätorientierungen einzeln, so sind Standardabweichungen und die Varianzen des ungerichteten Gerätes höher. Das heißt, dass die Werte des ungerichteten Gerätes eine deutlich höhere Streuung haben und somit auch deutlich höhere maximale Amplituden der einzelnen Richtungen.

Einige Fragen bleiben jedoch bei diesem Versuch offen:

- ➔ *Ist die Resultierende des ungerichteten Messgerätes immer kleiner als jene des gerichteten Messgerätes?*
- ➔ *Wie sehen die statistischen Werte aus, wenn das Gerät eine völlig andere Lage aufweist bzw. die Lage während der Fahrt einmal oder öfter verändert?*
- ➔ *Bleibt die Resultierende des ungerichteten Gerätes, so wie bei unserem Versuch, immer mehr oder weniger parallel zu der Resultierenden des gerichteten Gerätes?*

3. Stadtfahrt- Basis für ein Modell

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Versuchsfahrt im Stadtgebiet von Wien durchgeführt, bei der die einzelnen Fahrzustände und Charakteristika, welche bei einer Autofahrt auftreten, in verschiedenen Kombinationen mitaufgezeichnet wurden. In diesem Kapitel werden unterschiedliche statistische Größen, welche bei den verschiedenen Fahrzuständen auftreten, im Detail untersucht, um aus Beschleunigungsdaten Fahrzustände modellieren zu können. Bei den Fahrzuständen können im Wesentlichen folgende unterschieden werden:

- | | |
|-------------------|---|
| In Längsrichtung: | -Stillstand (z.B. an einer Lichtsignalanlage) |
| | -Dahinrollen |
| | -Beschleunigen |
| | -Verzögern |
| In Querrichtung: | -Stillstand |
| | -Gerade fahren |
| | -Rechtskurve |
| | -Linkskurve |

Da der Fahrzustand „Stillstand“ in beide Richtungen (Längsrichtung/ Querrichtung) gleichzeitig auftritt, kann man letztendlich die Versuchsfahrt in 7 Fahrzustände einteilen.

➔ Die Versuchsstrecke

Die Strecke, auf welcher der Versuch durchgeführt wurde, befindet sich im Stadtgebiet von Wien. Startpunkt war die Starkfriedgasse 15 in 1180 Wien und Zielpunkt war die Lerchengasse 9 in 1080 Wien.

Die gewählte Route vom Startpunkt zum Zielpunkt: Starkfriedgasse → Ludwiggasse → Pötzleinsdorfer Straße → Gersthofer Straße → Währinger Straße → Währinger Gürtel → Hernalser Gürtel → Josefstädter Straße → Lerchengasse

Durch diese Route ergibt sich eine Gesamtlänge 6165m. Der Startpunkt befindet sich auf einer Seehöhe von 255 m ü. NN und der Zielpunkt auf 205 m ü. NN. Die Höhen wurden durch Interpolation aus einer Geländekarte entnommen. Durch den Höhenunterschied von 50m und einer Streckenlänge von 6165 m ergibt sich ein durchschnittliches Gefälle von 0,81%.

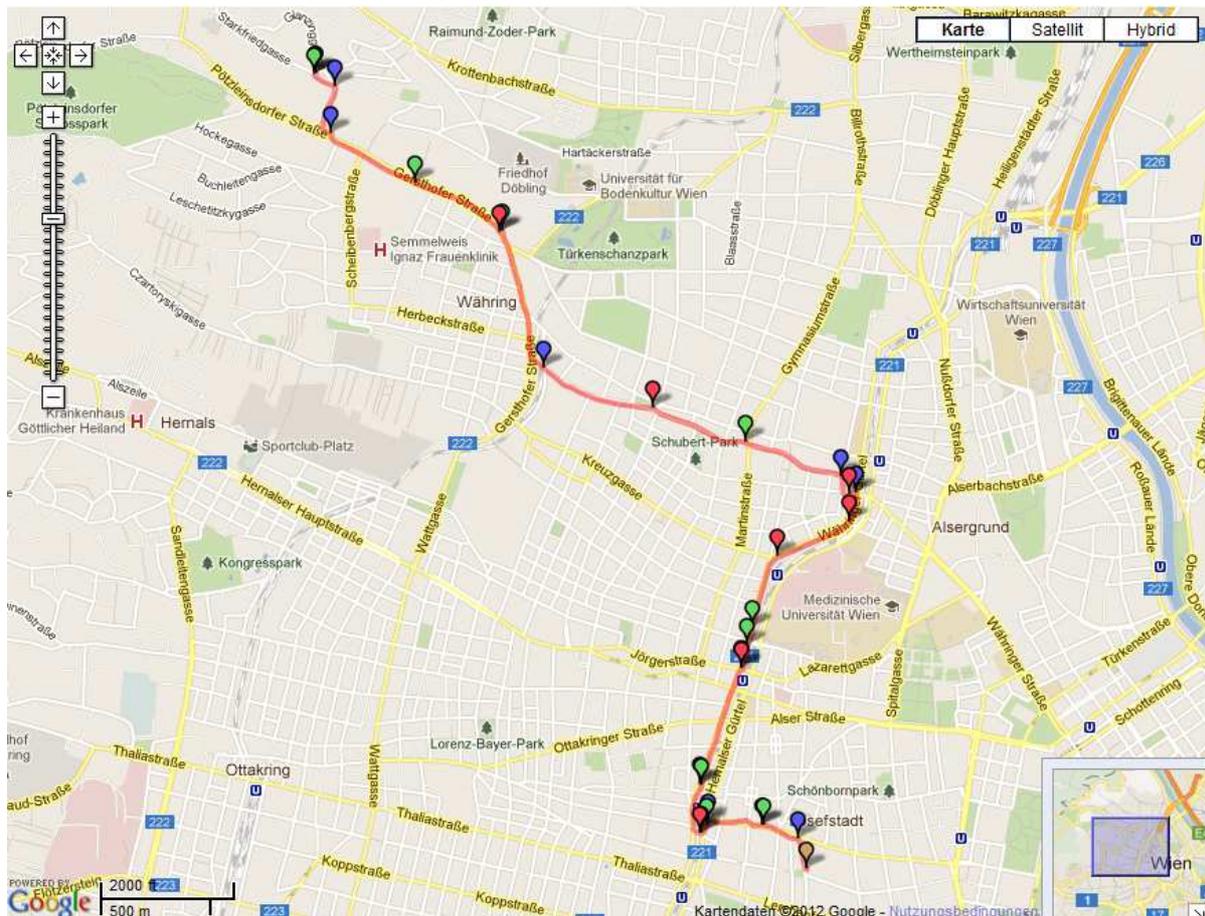


Abbildung 66: gewählte Strecke der Versuchsfahrt; Quelle: Google Preview aus dem Programm „Mobitest“ der Firma MGE Daten in Prag

Dadurch, dass sich die Versuchsstrecke im Stadtgebiet von Wien befindet, befinden sich auf der Versuchsstrecke viele Kurven (7 Rechtskurven und 8 Linkskurven), Ampeln und verschiedene Fahrbahnoberflächen (Asphalt, Kopfsteinpflaster, Straßenbahntrasse und Schwellen/ Fahrbahnanhebungen), um qualitative Aussagen über Beschleunigungswerte bei einer Stadtfahrt geben zu können.

➔ **Wie wurden die einzelnen Fahrzustände erfasst und dokumentiert?**

Das Aufnahmegerät wurde wie in Abbildung 4 im Versuchsfahrzeug (Abbildung 3) angebracht. Wichtig ist, dass während der Fahrt, die einzelnen „Fahrmanöver“ (parallel zur Zeit) mittels Gerätetaste markiert werden. Dafür wurde ein Schlüssel ausgearbeitet (Tabelle 11), wo jeder Knopf auf dem Messgerät ein Fahrmanöver bedeutet.

Beispiel: zu Beginn einer Rechtskurve wird die diesem Fahrmanöver entsprechende Taste, der „violette Fußgänger“ gedrückt und damit im Messprotokoll die Kennzahl 1 (für Rechtskurve) festgehalten. Oder das Versuchsfahrzeug steht still an einer Lichtsignalanlage, dann wird am Beginn des Stillstands das „rote Industriegebäude“ gedrückt und es erscheint dann im Messprotokoll die Kennzahl 8 (für Stillstand). Anhand der Kennzahl (Butt) im Messprotokoll kann im Nachhinein auf das durchgeführte Fahrmanöver geschlossen werden (siehe Abbildung 68).

Tabelle 11: Grundlage für die Erhebung der Fahrzustände

Knopf	Bedeutung	Kennzahl- Messprotokoll
Fahrradfahrer	Beschleunigung	4
Bus	Verzögerung	32
Industriegebäude	Stillstand	8
Fußgänger	Rechtskurve	1
Auto	Linkskurve	16
Haus	Keine Bedeutung	2



Abbildung 67: Aufnahmegerät; mit Hilfe der einzelnen Knöpfe wurden die Fahrzustände protokolliert.

Anhand dieser 5 ausgewiesenen Fahrzustände kann die gesamte Versuchsfahrt in alle 7 Fahrzustände unterteilt werden. In *Längsrichtung* bedeutet dies wenn nicht Stillstand (KZ 8), Beschleunigung (KZ 4) oder Verzögerung (KZ 32) herrscht, dann ist der vorhandene Fahrzustand „Dahinrollen“. In *Querrichtung* bedeutet dies, wenn nicht Stillstand (KZ 8), Rechtskurve (KZ 1) oder Linkskurve (KZ 16) herrscht, dann ist der vorhanden Fahrzustand „geradeaus fahren“.

ID	PwR	LONG	LAT	HEIGHT	HMSL	HACC	VACC	FX	GPSDATE	GPSTIME	TDA	TTIM	TMLIS	SATS	BUTT	VALID	PAIR	DIST	AZIM	TIME	XACC	YACC
838	2	16.3392128	48.2105048	264.77	222.65	5	8.1	3	10.02.2011	15.32.34	10.02.17.32		0	8	0	True	837	2136	351.8	1000	127	
839	2	16.3392129	48.2105066	264.75	222.63	5	8.1	3	10.02.2011	15.32.35	10.02.17.32		0	8	0	True	838	2005	2.2	1000	127	
840	2	16.3392136	48.2105083	264.66	222.54	5	8.1	3	10.02.2011	15.32.36	10.02.17.32		0	8	0	True	839	1963	15.8	1000	127	
841	2	16.3392137	48.2105097	264.58	222.47	5	8.2	3	10.02.2011	15.32.37	10.02.17.32		0	8	0	True	840	0.156	2.8	1000	127	
842	2	16.3392142	48.2105112	264.45	222.34	5	8.2	3	10.02.2011	15.32.38	10.02.17.32		0	8	0	True	841	0.171	12.9	1000	127	
843	2	16.3392147	48.2105125	264.31	222.19	5	8.2	3	10.02.2011	15.32.39	10.02.17.32		0	8	0	True	842	1.494	14.8	1000	127	
844	2	16.3392147	48.2105135	264.18	222.06	4.9	8.2	3	10.02.2011	15.32.40	10.02.17.32		0	8	0	True	843	1.113	0.02	1000	127	
845	2	16.3392148	48.2105148	264.01	221.9	4.9	8.2	3	10.02.2011	15.32.41	10.02.17.32		0	8	0	True	844	1.449	3	1000	127	
846	2	16.3392151	48.2105161	263.82	221.7	4.9	8.2	3	10.02.2011	15.32.42	10.02.17.32		0	8	0	True	845	1.464	9	1000	127	
847	2	16.3392151	48.2105171	263.61	221.49	5	8.2	3	10.02.2011	15.32.43	10.02.17.32		0	8	0	True	846	1.113	0.02	1000	127	
848	2	16.3392149	48.2105179	263.43	221.31	5	8.2	3	10.02.2011	15.32.44	10.02.17.32		0	8	0	True	847	0.903	350.3	1000	127	
849	2	16.3392151	48.210519	263.22	221.11	5	8.2	3	10.02.2011	15.32.45	10.02.17.32		0	8	0	True	848	1.233	7.1	1000	127	
850	2	16.3392148	48.2105199	262.85	220.73	4.9	8.1	3	10.02.2011	15.32.46	10.02.17.32		0	8	0	True	849	1.026	347.2	1000	127	
851	2	16.3392148	48.2105206	262.67	220.56	4.8	8.1	3	10.02.2011	15.32.47	10.02.17.32		0	8	0	True	850	0.779	0.03	1000	127	
852	2	16.3392144	48.210521	262.7	220.58	4.8	8.2	3	10.02.2011	15.32.48	10.02.17.32		0	8	0	True	851	0.535	325.6	1000	127	
853	2	16.3392198	48.210521	262.26	220.15	4.9	7.9	3	10.02.2011	15.32.49	10.02.17.32		0	8	0	True	852	4.006	90	1000	127	
854	2	16.3392336	48.2105184	262.31	220.19	4.9	7.9	3	10.02.2011	15.32.50	10.02.17.32		0	8	0	True	853	0.639	105.4	1000	127	
855	2	16.3392652	48.2105183	262.29	220.17	4.9	7.9	3	10.02.2011	15.32.51	10.02.17.32		0	8	4	True	854	3.443	90.3	1000	126	
856	2	16.3393099	48.2105314	263.01	220.89	4.9	7.9	3	10.02.2011	15.32.52	10.02.17.32		0	8	0	True	855	6.226	66.9	1000	131	
857	2	16.3393507	48.2105693	262.2	220.09	5	7.5	3	10.02.2011	15.32.53	10.02.17.32		0	7	0	True	856	1.926	36.4	1000	138	
858	2	16.3393986	48.210615	262.29	220.18	5.6	7.4	3	10.02.2011	15.32.54	10.02.17.32		0	7	0	True	857	1.233	7.1	1000	40	
859	2	16.3394116	48.2106173	262.30	220.18	6.2	7.3	3	10.02.2011	15.32.55	10.02.17.32		0	7	0	True	858	2.672	20.5	1000	137	
860	2	16.3394423	48.2107195	262.14	220.03	6.9	7.2	3	10.02.2011	15.32.56	10.02.17.32		0	7	0	True	859	1.083	20.4	1000	133	
861	2	16.3394709	48.2107685	262.41	220.29	7.2	7.2	3	10.02.2011	15.32.57	10.02.17.32		0	7	0	True	860	5.837	21.4	1000	127	
862	2	16.3395168	48.2107984	263.2	221.08	7.3	7.1	3	10.02.2011	15.32.58	10.02.17.32		0	6	0	True	861	7.617	46.5	1000	127	
863	2	16.3395432	48.210815	263.01	220.89	7.4	7.1	3	10.02.2011	15.32.59	10.02.17.32		0	6	32	True	862	6.927	47.5	1000	127	
864	2	16.3395564	48.2108191	262.77	220.66	7.7	7	3	10.02.2011	15.33.00	10.02.17.33		0	6	0	True	863	0.804	65.6	1000	127	
865	2	16.3395732	48.2108156	262.73	220.61	7.9	7	3	10.02.2011	15.33.01	10.02.17.33		0	6	0	True	864	3.058	106.9	1000	127	
866	2	16.3395801	48.2108151	262.65	220.53	7.8	7	3	10.02.2011	15.33.02	10.02.17.33		0	6	0	True	865	5.149	96	1000	127	
867	2	16.3395849	48.2108195	262.52	220.41	7.6	7	3	10.02.2011	15.33.03	10.02.17.33		0	6	8	True	866	6.056	36.8	1000	127	
868	2	16.3395882	48.2108173	262.6	220.48	7.6	7.1	3	10.02.2011	15.33.04	10.02.17.33		0	6	0	True	867	3.463	134.2	1000	127	
869	2	16.3395915	48.2108221	262.25	220.13	7.3	7.1	3	10.02.2011	15.33.05	10.02.17.33		0	6	0	True	868	5.878	25.2	1000	127	
870	2	16.3395943	48.2108258	261.33	219.21	7.1	7.2	3	10.02.2011	15.33.06	10.02.17.33		0	6	0	True	869	4.613	27.4	1000	127	
871	2	16.3396027	48.2108276	260.7	218.58	7	7.4	3	10.02.2011	15.33.07	10.02.17.33		0	6	0	True	870	6.546	72.6	1000	127	
872	2	16.3396082	48.2108282	260.32	218.2	6.8	7.5	3	10.02.2011	15.33.08	10.02.17.33		0	6	0	True	871	4.135	81	1000	127	
873	2	16.3396111	48.2108307	259.83	217.71	6.7	7.7	3	10.02.2011	15.33.09	10.02.17.33		0	7	0	True	872	3.518	38.5	1000	127	
874	2	16.3396143	48.2108327	259.42	217.3	6.6	7.9	3	10.02.2011	15.33.10	10.02.17.33		0	7	0	True	873	3.255	47.6	1000	127	
875	2	16.3396153	48.2108334	259.16	217.04	6.6	8.1	3	10.02.2011	15.33.11	10.02.17.33		0	7	0	True	874	1.076	44.4	1000	127	
876	2	16.3396161	48.2108343	258.86	216.74	6.6	8.3	3	10.02.2011	15.33.12	10.02.17.33		0	7	0	True	875	1.164	31.4	1000	127	
877	2	16.3396173	48.2108353	258.67	216.56	6.6	8.5	3	10.02.2011	15.33.13	10.02.17.33		0	7	0	True	876	1.426	39.4	1000	127	

Abbildung 68: Auszug aus dem Messprotokoll (Bei ID 863- entspricht Sekunde 863 der Versuchsfahrt- wurde ein Verzögerungsmanöver durchgeführt); Quelle: Messprotokollauszug aus dem Programm „Mobitest“ der Firma MGE Daten in Prag

Nach dieser Vorgangsweise wurde die gesamte Dauer der Versuchsfahrt (1020 Sekunden beziehungsweise 17 Minuten) markiert. Um die einzelnen Fahrzustände separat betrachten und statistisch auswerten zu können, wurde die gesamte Fahrt in die Phasen der einzelnen Fahrzustände aufgeteilt (siehe Abbildung 69 und Abbildung 70).

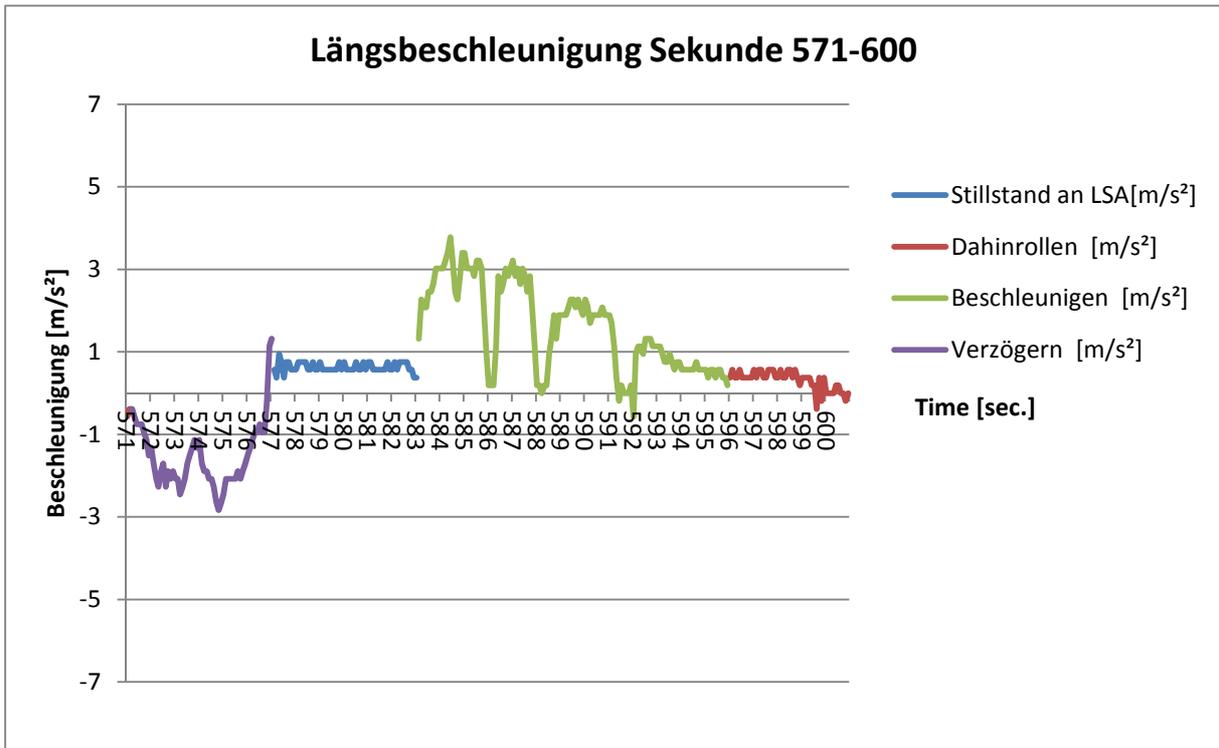


Abbildung 69: Ausschnitt Längsbeschleunigung Sekunde 571-600 inklusive unterschiedlicher Phasen an Fahrmanövern

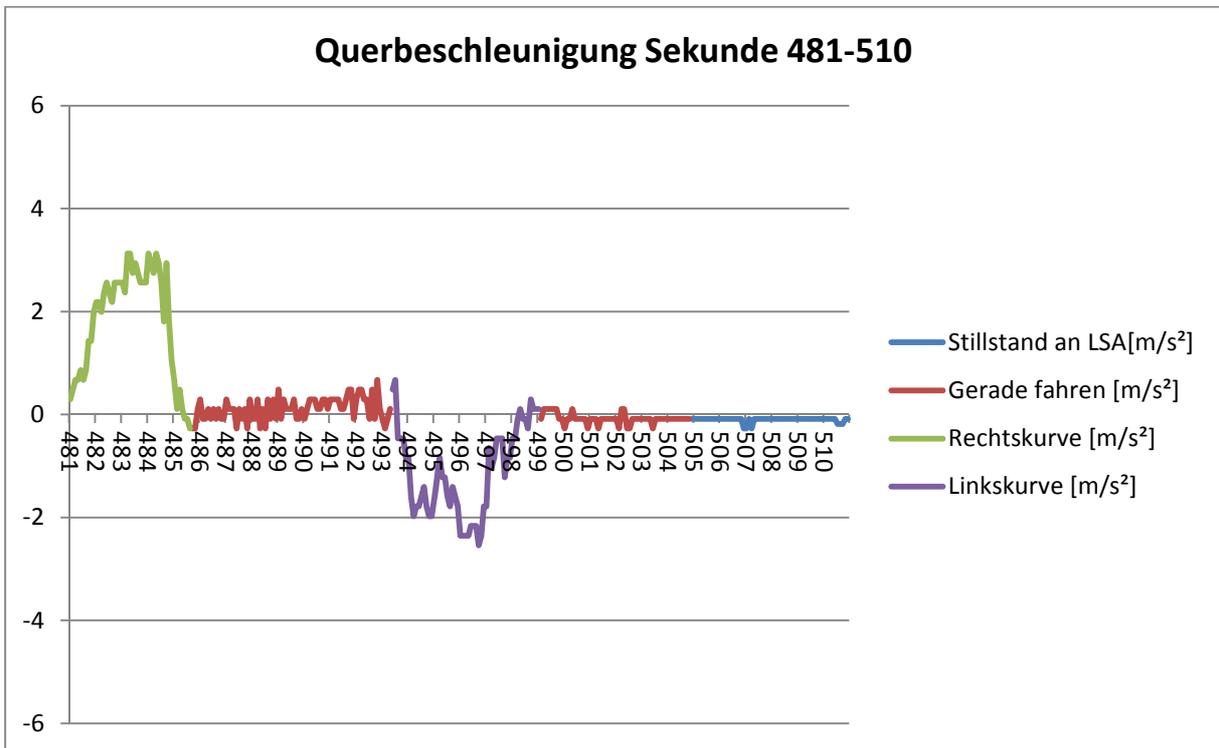


Abbildung 70: Ausschnitt Querbeschleunigung Sekunde 481-510 inklusive unterschiedlicher Phasen an Fahrmanövern

3.1 Statistische Auswertungen der Stadtfahrt

3.3.1 Statistische Auswertung der Beschleunigung in Längsrichtung

Tabelle 12: Ergebnisse der Längsbeschleunigung

Ergebnisse	Stillstand	gesamte Fahrt	Dahinrollen	Beschleunigen	Verzögern
Mittelwert [m/s ²]	0,15	0,14	0,02	0,99	-1,63
Standardabweichung [m/s ²]	0,260	0,963	0,531	0,994	1,310
Varianz [m/s ²]	0,068	0,927	0,282	0,987	1,714
Minimum [m/s ²]	-1,24	-6,05	-2,46	-2,27	-6,05
Maximum [m/s ²]	0,94	3,97	2,08	3,97	1,32

Erläuterungen zu Tabelle 12:

Wie in obenstehender Tabelle zu sehen ist, liegt der Mittelwert über die gesamte Fahrt bei 0,14 m/s². Der Mittelwert der Stillstandsphasen liegt bei 0,15 m/s². Grund für diese Abweichungen ist höchstwahrscheinlich ein Schiefstehen des Autos in Längsrichtung. Die Mittelwerte für Beschleunigungen beziehungsweise Verzögerungen sind wie zu erwarten im deutlich positiven beziehungsweise im deutlich negativen Bereich. Mittelwert der Verzögerung weicht mehr von Null ab, als der Mittelwert der Beschleunigung. Grund dafür ist, dass im Normalfall stärker gebremst als beschleunigt wird. Standardabweichung und Varianz ist bei Beschleunigungs- und Verzögerungsmanövern deutlich höher als bei allen anderen Fahrmanövern, da die Spanne zwischen Minimum und Maximum auch deutlich höher ist, als die Spannen üblicher Manöver. Standardabweichung und Varianz sind während der Stillstandsphasen am geringsten. Zu beachten ist, dass die Bereiche, welche als „Dahinrollen“ bezeichnet wurden einen Schwankungsbereich von circa -2,5 m/s² bis 2,1 m/s² aufweisen (vgl. mit Tabelle 12). Dieser Bereich überschneidet sich sowohl mit dem Schwankungsbereich des Beschleunigens als auch mit dem des Verzögerns. Der Grund dafür ist, dass der Übergang von Rollen auf Verzögern und von Rollen auf Beschleunigen fließend ist und daher ist es schwierig eine eindeutige Grenze zwischen diesen Fahrzuständen festzulegen.

Durch die Aufteilung der Fahrzustände, der Längsrichtung, in die einzelnen Phasen (siehe Abbildung 69), ist es möglich die Fahrmanöver „Beschleunigung“ und „Verzögerung“ nach deren Dauer und Amplitude zu untersuchen.

Tabelle 13: Statistische Betrachtung der Beschleunigungs- und Verzögerungsmanöver nach deren Dauer und Amplitude

	Beschleunigung	Verzögerung
Mittelwert d. Dauer [sec.]	11,7	6,3
Mittelwert Amplitude [m/s ²]	3,6	3,96
Standardabw. d. Dauer [sec.]	4,7	3,0
Standardabw. Amplitude [m/s ²]	0,9	1,16
Varianz d. Dauer [sec.]	21,0	8,5
Varianz Amplitude [m/s ²]	0,7	1,24
Min. Dauer [sec.]	4,1	3,6
Max. Dauer [sec.]	19,5	14,2

Erläuterungen zu Tabelle 13:

Beschleunigungsvorgänge dauern länger als Verzögerungen. Während der durchgeführten Fahrt wurden weder eine Vollbeschleunigung noch eine Vollbremsung durchgeführt.

3.3.2 Statistische Auswertung der Beschleunigung in Querrichtung

Tabelle 14: Ergebnisse zur Querbeschleunigung

Ergebnisse	gesamte Fahrt	Stillstand	Gerade fahren	Rechtskurve	Linkskurve
Mittelwert [m/s ²]	0,16	0,14	0,18	1,96	-1,08
Standardabweichung [m/s ²]	0,645	0,173	0,411	1,419	1,211
Varianz [m/s ²]	0,416	0,030	0,169	2,006	1,464
Minimum [m/s ²]	-4,81	-0,27	-1,98	-1,03	-4,81
Maximum [m/s ²]	5,59	0,48	2,56	5,59	1,24

Erläuterungen zu Tabelle 14:

Bei Betrachtung der Mittelwerte ist auffällig, dass sich die Mittelwerte der Fahrzustände „gesamte Fahrt“, „Stillstand“ und „gerade fahren“ sehr nahe um 0 m/s² bewegen. Für die Fahrzustände „Stillstand“ und „gerade fahren“ ist dies zu erwarten. Wenn der Mittelwert der Querbeschleunigungen jedoch über die gesamte Fahrt annähernd bei 0 m/s² ist, so sagt uns das, dass das Verhältnis von Rechts- und Linkskurven sehr ausgewogen ist oder dass es sich um eine sehr gerade Strecke handelt. Standardabweichung und Varianz sind in den Kurven deutlich höher als bei den üblichen Fahrzuständen, weil in den Kurven die höchsten Querbeschleunigungen der gesamten Fahrt auftreten. Bei Rechtskurven kommt es zu höheren

Querschleunigungen als vergleichsweise bei Linkskurven. Die Ursache dafür ist, dass die Kurvenradien beim Durchfahren von Rechtskurven kleiner sind als beim Durchfahren von Linkskurven. Wenn Rechts- und Linkskurven mit der gleichen Geschwindigkeit befahren werden, kommt es in den Rechtskurven zu höheren Querschleunigungen.

Durch die Aufteilung der Fahrzustände, der Querrichtung, in die einzelnen Phasen (siehe Abbildung 70), ist es möglich die Fahrmanöver „Rechtskurve“ und „Linkskurve“ nach deren Dauer und Amplitude zu untersuchen.

Tabelle 15: Statistische Betrachtung der Beschleunigungs- und Verzögerungsmanöver nach deren Dauer und Amplitude

	Rechtskurve	Linkskurve
Mittelwert d. Dauer [sec.]	4,1	6,0
Mittelwert Amplitude [m/s ²]	4,3	3,17
Standardabw. d.Dauer [sec.]	1,2	3,9
Standardabw. Amplitude [m/s ²]	1,1	1,30
Varianz d. Dauer [sec.]	1,2	13,6
Varianz Amplitude [m/s ²]	1,0	1,48
Max. Dauer [sec.]	5,7	12,5
Min. Dauer [sec.]	2,8	0,8

Erläuterungen zu Tabelle 15:

Das Durchfahren einer Linkskurve benötigt deutlich mehr Zeit als das Durchfahren einer Rechtskurve. Der Radius ist bei Rechtskurven geringer als bei Linkskurven, weshalb das Durchfahren einer Linkskurve mehr Zeit benötigt als das Durchfahren einer Rechtskurve.

3.3.3 Statistische Auswertung der Beschleunigung in Hochrichtung

Tabelle 16: Ergebnisse zur Hochbeschleunigung

Ergebnisse	gesamte Fahrt	Stillstand	Dahinrollen	Beschleunigen
Mittelwert [m/s ²]	9,78	9,77	9,79	9,65
Standardabweichung [m/s ²]	0,39	0,09	0,43	0,48
Varianz [m/s ²]	0,15	0,01	0,18	0,23
Minimum [m/s ²]	6,13	9,35	7,08	6,13
Maximum [m/s ²]	12,00	10,10	12,00	12,00
Ergebnisse	Verzögern	Gerade fahren	Rechtskurve	Linkskurve
Mittelwert [m/s ²]	10,04	9,78	9,74	9,78
Standardabweichung [m/s ²]	0,38	0,45	0,61	0,45
Varianz [m/s ²]	0,15	0,20	0,37	0,20
Minimum [m/s ²]	8,40	7,08	6,13	7,84
Maximum [m/s ²]	11,62	12,00	11,43	11,62

Erläuterungen zu Tabelle 16:

Die Hochbeschleunigung weist bei allen Fahrmanövern eine sehr gleichmäßige Beschleunigung in die Fahrzeughochachse auf. Idealerweise liegt der Wert der Hochbeschleunigung bei $9,81 \text{ m/s}^2$. Hier liegt dieser Wert über die gesamte Versuchsfahrt bei $9,78 \text{ m/s}^2$. Auch bei allen anderen Fahrzuständen bewegen sich die Beschleunigungswerte der Fahrzeughochrichtung erstaunlich nahe am Beschleunigungswert der Erdbeschleunigung ($9,81 \text{ m/s}^2$). Standardabweichung und Varianz sind bei allen Fahrmanövern sehr gering. Maximum und Minimum bewegen sich ebenso nahe um die Erdbeschleunigung. Anhand der Ergebnisse aus Tabelle 16 ist ersichtlich, dass anhand der Beschleunigung in Fahrzeughochachse keine Aussage über das Fahrmanöver getätigt werden kann.

Offenbar ist das Fahrzeug so gut gefedert, dass keine Unterschiede, zum Beispiel des Fahrbahnbelages erkennbar sind (vgl. Kapitel 2).

4. statistisches Berechnungsmodell

Anhand eines statistischen Modells soll es möglich sein, anhand der während einer Autofahrt aufgezeichneten Beschleunigungsdaten, **den Fahrzustand in Querrichtung und Längsrichtung mit einer möglichst hohen Wahrscheinlichkeit aus gemessenen Beschleunigungen ableiten zu können.** Die Daten, denen das Berechnungsmodell zugrunde liegt, sind jene aus Kapitel 3- Stadtfahrt. Aus diesem Grund sind folgende Modelle nur für Datensätze aus Stadtfahrten gültig, da bei Fahrten auf Autobahnen und Landstraßen andere Beschleunigungen auftreten. Auch für ein im städtischen Verkehr allgemein aussagekräftiges Modell müssten mit verschiedenen Fahrzeugen weitere Messfahrten unternommen werden.

4.1 Multinominale logistische Regression:

Das Berechnungsmodell wurde erstellt mittels einer *Diskriminanzanalyse* beziehungsweise einer *multinomialen logistischen Regression*. Der Vorteil der multinomialen logistischen Regression liegt darin, dass als Ergebnis eine Zugehörigkeitswahrscheinlichkeit vorliegt. Die multinominale logistische Regression hat im Verkehrswesen eine lange Tradition, weshalb sie auch in dieser Arbeit angewendet wurde.

4.2 Modell- Daten

Die von dem Messgerät aufgezeichneten Daten werden wie in Kapitel 1.4 in m/s^2 umgerechnet. Den Fahrmanövern der Längs- und Querbeschleunigung werden Zahlencodes zugeteilt.

- Längsbeschleunigung (MvLa3):
- 1= Stillstand
 - 2= Konstant (Rollen)
 - 3= Veränderung (Beschleunigung oder Verzögerung)
- Querbeschleunigung (MvQu3):
- 1=Stillstand
 - 2= Konstant (gerade Fahren)
 - 3= Veränderung (Rechtskurve oder Linkskurve)

Das Kürzel MvLa3 bedeutet dabei- Manöver Längsrichtung 3 Möglichkeiten und MvQu3- Manöver Querrichtung 3 Möglichkeiten. MvKo5 setzt sich zusammen aus MvLa3 und MvQu3 und bedeutet Manöverkombination mit 5 grundsätzlichen Möglichkeiten.

Beispiel: MvLa3 = 3 und MvQu3 = 2 dann wird MvKo5 codiert als „32“. Die 32 steht dabei für in Längsrichtung „Veränderung (Beschleunigen oder Verzögern)“ und Querrichtung „Konstant (gerade fahren)“ (siehe unten).

MvLa3	MvQu3	MvKo5
3	2	32
2	2	22
2	2	22
2	2	22
2	2	22
3	2	32
3	2	32
3	2	32
3	2	32
3	2	32
3	2	32
3	2	32
3	2	32
3	2	32
2	2	22
3	2	32

Abbildung 71: Codierung der Manöverkombination mit 5 grundsätzlichen Möglichkeiten

Die Zahl 5 bei MvKo5 steht für die fünf möglichen Kombinationen:

- 11= „Stillstand“ in Längsrichtung und Querrichtung
- 22= „konstant“ (rollen) in Längsrichtung und „konstant“ (geradeaus fahren) in Querrichtung
- 23= „konstant“ (rollen) in Längsrichtung und „Veränderung“ (Rechtskurve oder Linkskurve) in Querrichtung
- 32= „Veränderung“ (Beschleunigung oder Verzögerung) in Längsrichtung und „konstant“ (gerade fahren) in Querrichtung
- 33= „Veränderung“ (Beschleunigung oder Verzögerung) in Längsrichtung und „Veränderung“ (Rechtskurve oder Linkskurve) in Querrichtung

Um ein bestimmtes Fahrmanöver auch als dieses identifizieren zu können, ist es äußerst wichtig die Beschleunigungswerte nicht nur einige zehntel Sekunden, sondern über einen längeren Zeitraum (1,5 bis 5 Sekunden) zu betrachten. Bei gewissen Fahrmanövern (zum Beispiel: Fahrmanöver „Beschleunigen“) kommt es während des Manövers kurzzeitig zu Beschleunigungswerten, welche eigentlich für ein anders Fahrmanöver charakteristisch sind (siehe Abbildung 72).

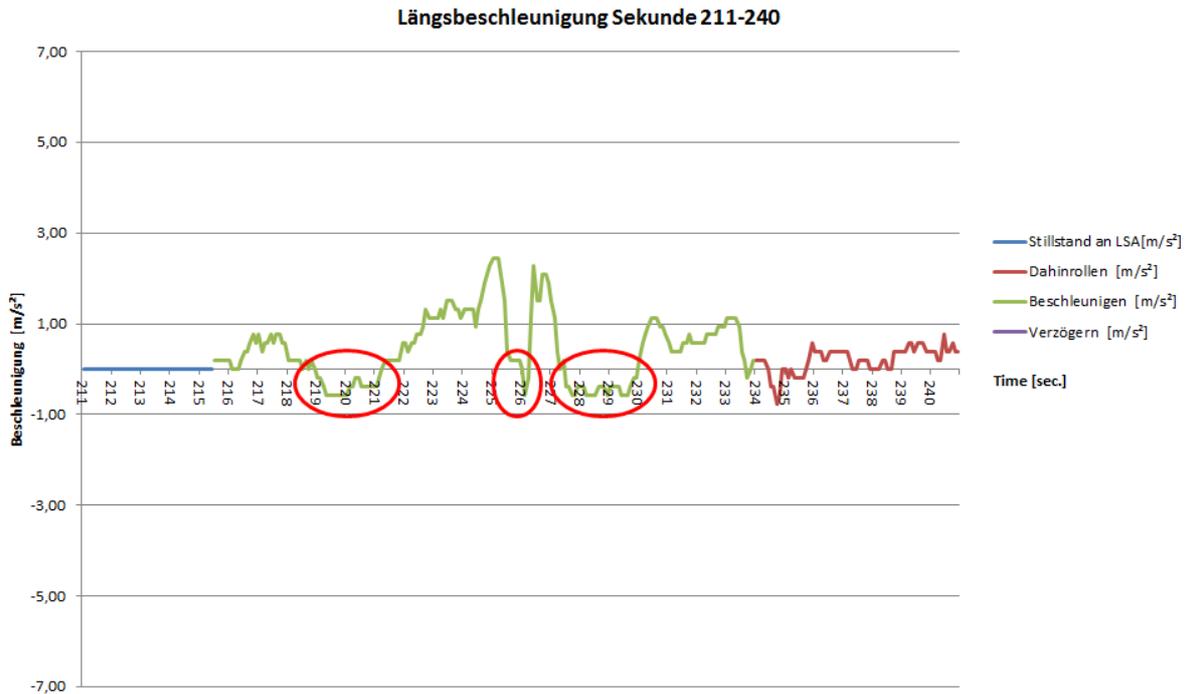


Abbildung 72: während eines Beschleunigungsvorgangs (grüne Linie), kommt es kurzzeitig zu Beschleunigungswerten, welche eigentlich jenen des Fahrmanövers „Dahinrollen“ sehr ähnlich sind (Beschleunigungswerte in den roten Ellipsen)

Um derartige Fehlinterpretationen zu vermeiden, werden die statistischen Größen, welche in die multinominale logistische Regression eingehen, über einen längeren Zeitraum betrachtet. Nach etlichen Versuchen zeigte sich, dass mit einem aufeinander folgenden „Zeitfenster“ von 3 Sekunden die beste Erkennung der Fahrmanöver liefert. Um aus den Beschleunigungswerten (Längs-, Quer- und Hochrichtung) die bestmögliche Information und somit das bestmögliche Ergebnis aus den Modellen zu erhalten, wurden folgende statistischen Größen gebildet (siehe Tabelle 17):

Tabelle 17: statistische Größen für die multinominale logistische Regression

Beschleunigungsrichtung	Bedeutung
Längsrichtung	
MiBeLa	Minimum Beschleunigung Längsrichtung [m/s ²]
MaBeLa	Maximum Beschleunigung Längsrichtung [m/s ²]
SpanneLa	Spanne Längsrichtung (MaBeLa- MiBeLa) [m/s ²]
Querrichtung	
MiBeQu	Minimum Beschleunigung Querrichtung [m/s ²]

MaBeQu	Maximum Beschleunigung Querrichtung [m/s ²]
SpanneQu	Spanne Querrichtung (MaBeQu- MiBeQu) [m/s ²]
Hochrichtung	
MiBeHo	Minimum Beschleunigung Hochrichtung [m/s ²]
MaBeHo	Maximum Beschleunigung Hochrichtung [m/s ²]
SpanneHo	Spanne Hochrichtung (MaBeHo- MiBeHo) [m/s ²]
Resultierende Beschleunigung	
MiBeRes	Minimum Beschleunigung Resultierende [m/s ²]
MaBeRes	Maximum Beschleunigung Resultierende [m/s ²]
MwBeRes	Mittelwert Beschleunigung Resultierende [m/s ²]
SpanneRes	Spanne Resultierende (MaBeRes- MiBeRes) [m/s ²]

Diese Minimum-, Maximum-, Mittelwerte und Spannen von Beschleunigungen werden jeweils über Zeiträume von 3 Sekunden gebildet, um die in Abbildung 72 beschriebenen Probleme zu vermeiden.

4.3 Modelle

Im Rahmen dieser Arbeit wurden drei unterschiedliche Modelle entwickelt um mit möglichst hoher Wahrscheinlichkeit ein gewisses Fahrmanöver aus den gemessenen Beschleunigungen ableiten zu können.

1. Modell: MvKo5....**Manöver Kombination 5**

$$MvKo5 = f(MiBeLa, MaBeLa, MiBeQu, MaBeQu, MiBeHo, MaBeHo)$$

2. Modell: MvLa3....**Manöver Längsrichtung 3** (unter Verwendung der gerichteten Beschleunigung)

$$MvLa3 = f(SpanneLa, SpanneQu)$$

3. Modell: MvLa3.... **Manöver Längsrichtung 3** (unter Verwendung der resultierenden Beschleunigung)

$$MvLa3 = f(MwBeRes, SpanneRes)$$

Mit diesen Modellen soll gezeigt werden, mit welcher Genauigkeit ein Fahrmanöver beziehungsweise eine Fahrmanöverkombination, anhand der während einer Fahrt gemessenen Beschleunigungen, abgeleitet werden kann.

Für die Modelle wurden in Längsrichtung die Manöver „beschleunigen“ und „verzögern“ zu dem Manöver „Veränderung Längsrichtung“ und in Querrichtung die Manöver „Rechtkurve“ und „Linkskurve“ zu dem Manöver „Veränderung Querrichtung“ zusammen gefasst. Der Grund dafür war, dass gewisse Manöverkombinationen, wie zum Beispiel: In Längsrichtung

„verzögern“ und parallel in Querrichtung „Linkskurve“, nicht in einer ausreichenden Anzahl aufgetreten sind, um diese Manöverkombinationen statistisch charakterisieren zu können.

Die Modelle 2 und 3 dienen lediglich dazu, um den Verlust aufzuzeigen, welcher entsteht, wenn man anstatt der gerichteten Beschleunigungen lediglich die resultierenden Beschleunigungen als Datengrundlage verwendet.

4.4 Erstellen der Modelle

Die Modelle werden mit dem Statistik- Berechnungsprogramm *SPSS Statistics* der Firma SPSS erstellt. Bei der Erstellung eines statistischen Modells ist auf unterschiedliche Parameter zu achten, um das bestmögliche Ergebnis zu erzielen. Weiter wurde auf die „Einfachheit des Modells“ großer Wert gelegt. Dabei wurde nach dem *Prinzip der Parsimonie (Ockhams Rasiermesser)- Prinzip der Sparsamkeit* vorgegangen. Ziel sollte dabei sein, ein Modell zu erstellen, das einen möglichst hohen Erklärungswert hat und dafür so wenig wie möglich an beschreibenden Variablen benötigt.

Anhand eines Beispielausgabeprotokolls wird die Vorgehensweise für die Akzeptanz beziehungsweise die Beurteilung eines Modells gezeigt:

```
NOMREG MvKo5 (BASE=LAST ORDER=ASCENDING) WITH MvBeLa SpanneLa MvBeQu SpanneQu MvBeHo SpanneHo MaBeQu MiBeLa MaBeLa
MiBeQu MiBeHo MaBeHo
/CRITERIA CIN(95) DELTA(0) MXITER(100) MXSTEP(5) CHKSEP(20) LCONVERGE(0) PCONVERGE(0.000001) SINGULAR(0.00000001)
/MODEL
/STEPWISE=PIN(.05) POUT(0.1) MINEFFECT(0) RULE(SINGLE) ENTRYMETHOD(LR) REMOVALMETHOD(LR)
/INTERCEPT=INCLUDE
/PRINT=CLASSTABLE PARAMETER SUMMARY LRT CPS STEP MFI.
```

Nominale Regression

Warnungen

Die Hesse-Matrix enthält unerwartete Singularitäten. Dies bedeutet, daß entweder einige Einflußvariablen weggelassen oder einige Kategorien zusammengefügt werden sollten. Die Prozedur NOMREG wird trotz obiger Warnungen fortgesetzt. Die nachfolgend angezeigten Ergebnisse basieren auf der letzte Iteration. Die Gültigkeit der Modellanpassung ist ungewiss.

Warnungen sind sehr kritisch zu hinterfragen. Bei den Modellen in dieser Arbeit wurde das Modell im Falle einer Warnung verworfen.

Verarbeitete Fälle

		Anzahl	Rand- Prozentsatz
MvKo5	11	71,000000	20,1%
	22	71,000064	20,1%
	23	69,999996	19,8%
	32	70,999960	20,1%
	33	71,000000	20,1%
Gültig		354,000020	100,0%
Fehlend		,000000	
Gesamt		354,000020	
Teilgesamtheit		340 ^a	

Gleichverteilung der Fahrmanöver:

Um nicht unerwünschte Einflüsse von sehr häufig auftretenden Manöverkombinationen auf weniger häufig auftretende Manöverkombinationen zu haben, wurde die Anzahl der zu verarbeitenden Fälle gleichmäßig verteilt. Bei diesem Beispiel mit einer Gewichtung von je 20%.

a. Die abhängige Variable hat nur einen in 340 (100,0%) Teilgesamtheiten beobachteten Wert.

Abbildung 73: Warnungen und Gleichverteilung der Fahrmanöver

Informationen zur Modellanpassung

Modell	Kriterien für die Modellanpassung	Likelihood-Quotienten-Tests		
		-2 Log-Likelihood	Chi-Quadrat	Freiheitsgrade
Nur konstanter Term	1,139E3			
Endgültig	286,196	853,275	44	,000

Pseudo-R-Quadrat

Cox und Snell	,910
Nagelkerke	,948
McFadden	,749

Pseudo- R- Quadrat: Bestimmtheitsmaß

McFadden: der McFadden- Wert ist immer zwischen 0 und 1; ein Modell mit einem hohen McFadden hat eine hohe Wahrscheinlichkeit für einen bestimmten Datensatz

Für die Modelle in dieser Arbeit wurde vorwiegend der McFadden- Wert beachtet.

Abbildung 74: Beurteilung des Modells nach "Pseudo- R- Quadrat" und "McFadden"

Likelihood-Quotienten-Tests

Effekt	Kriterien für die Modellanpassung	Likelihood-Quotienten-Tests		
		-2 Log-Likelihood für reduziertes Modell	Chi-Quadrat	Freiheitsgrade
Konstanter Term	308,265 ^a	22,069	4	,000
MwBeLa	288,196 ^a	2,002	4	,735
SpanneLa	312,024 ^a	25,828	4	,000
MwBeQu	293,707 ^a	7,512	4	,111
SpanneQu	314,762 ^a	28,566	4	,000
MwBeHo	300,501 ^a	14,305	4	,006
SpanneHo	286,196 ^b	,000	0	.
MaBeQu	314,769 ^a	28,573	4	,000
MiBeLa	312,059 ^a	25,863	4	,000
MaBeLa	312,045 ^a	25,849	4	,000
MiBeQu	314,807 ^a	28,611	4	,000
MiBeHo	286,196 ^b	,000	0	.
MaBeHo	286,196 ^b	,000	0	.

Signifikanz und Chi- Quadrat:

Je geringer die Signifikanz, desto signifikanter ist eine Variable. Das Signifikanzniveau lag bei den Modellen dieser Arbeit bei 10%. Variablen mit Signifikanzen über diesem Level wurden nicht für die Modellerstellung verwendet.

Je höher der Chi- Quadrat- Wert ist, desto wichtiger ist dieser für die Berechnung des Modells.

Die Chi-Quadrat-Statistik stellt die Differenz der -2 Log-Likelihoods zwischen dem endgültigen Modell und einem reduziertem Modell dar. Das reduzierte Modell wird berechnet, indem ein Effekt aus dem endgültigen Modell weggelassen wird. Hierbei liegt die Nullhypothese zugrunde, nach der alle Parameter dieses Effekts 0 betragen.

- Die Hesse-Matrix enthält unerwartete Singularitäten. Dies bedeutet, daß entweder einige Einflußvariablen weggelassen oder einige Kategorien zusammengefügt werden sollten.
- Dieses reduzierte Modell ist zum endgültigen Modell äquivalent, da das Weglassen des Effekts die Anzahl der Freiheitsgrade nicht erhöht.

Abbildung 75: Beurteilung des Modells nach der "Signifikanz" und nach "chi- Quadrat"

Tabelle 18: Parameterschätzer

		Parameterschätzer							
MvKo5 ^a		B	Standardfehler	Wald	Freiheitsgrade	Signifikanz	Exp(B)	95% Konfidenzintervall für Exp(B)	
								Untergrenze	Obergrenze
11	Konstanter Term	97,363	356,349	,075	1	,785			
	MwBeLa	-13,823	30,081	,211	1	,646	9,930E-7	2,467E-32	3,997E19
	SpanneLa	11108,222	15,521	512194,909	1	,000	^b	^b	^b
	MwBeQu	42,860	18,165	5,567	1	,018	4,112E18	1417,885	1,193E34
	SpanneQu	10533,726	11838,485	,792	1	,374	^b	,000	^b
	MwBeHo	-44,121	43,659	1,021	1	,312	6,893E-20	4,742E-57	1,002E18
	SpanneHo	17,064	9,667	3,116	1	,078	2,574E7	,152	4,360E15
	MaBeQu	-10568,746	11843,384	,796	1	,372	,000	,000	^b
	MiBeLa	11136,503	33,482	110628,102	1	,000	^b	^b	^b
	MaBeLa	-11114,085	,000		1		,000	,000	,000
	MiBeQu	10520,488	11833,503	,790	1	,374	^b	,000	^b
	MiBeHo	35,983	18,458	3,800	1	,051	4,237E15	,823	2,181E31
MaBeHo	0 ^c			0					
22	Konstanter Term	-190,079	67,011	8,046	1	,005			
	MwBeLa	1,531	2,025	,572	1	,450	4,623	,087	244,732
	SpanneLa	4348,476	943,672	21,234	1	,000	^b	^b	^b
	MwBeQu	,477	2,751	,030	1	,862	1,610	,007	353,648
	SpanneQu	2646,473	847,377	9,754	1	,002	^b	^b	^b
	MwBeHo	12,178	6,575	3,431	1	,064	194516,344	,492	7,685E10
	SpanneHo	7,700	2,109	13,336	1	,000	2209,110	35,431	137737,249
	MaBeQu	-2649,957	848,102	9,763	1	,002	,000	,000	,000
	MiBeLa	4352,934	943,995	21,263	1	,000	^b	^b	^b
	MaBeLa	-4350,514	943,611	21,257	1	,000	,000	,000	,000
	MiBeQu	2652,457	847,156	9,803	1	,002	^b	^b	^b
	MiBeHo	8,031	3,067	6,858	1	,009	3073,860	7,542	1252879,057
MaBeHo	0 ^c			0					
23	Konstanter Term	-32,014	31,745	1,017	1	,313			
	MwBeLa	1,064	1,650	,416	1	,519	2,899	,114	73,580
	SpanneLa	-681,807	712,242	,916	1	,338	7,856E-297	,000	^b
	MwBeQu	-2,250	1,110	4,106	1	,043	,105	,012	,929
	SpanneQu	5307,131	1473,306	12,976	1	,000	^b	^b	^b
	MwBeHo	9,995	3,993	6,265	1	,012	21919,582	8,746	5,494E7
	SpanneHo	-3,376	1,706	3,919	1	,048	,034	,001	,967
	MaBeQu	-5304,098	1472,832	12,969	1	,000	,000	,000	,000
	MiBeLa	-679,148	712,274	,909	1	,340	1,122E-295	,000	^b

	MaBeLa	678,549	711,825	,909	1	,340	4,899E294	,000	^b
	MiBeQu	5305,116	1472,760	12,976	1	,000	^b	^b	^b
	MiBeHo	-6,923	2,925	5,603	1	,018	,001	3,192E-6	,304
	MaBeHo	0 ^c			0				
32	Konstanter Term	-224,747	66,426	11,448	1	,001			
	MwBeLa	-,330	1,516	,048	1	,827	,719	,037	14,025
	SpanneLa	2832,919	886,145	10,220	1	,001	^b	^b	^b
	MwBeQu	1,477	2,555	,334	1	,563	4,378	,029	654,127
	SpanneQu	3249,200	804,180	16,325	1	,000	^b	^b	^b
	MwBeHo	14,357	6,378	5,067	1	,024	1717744,875	6,396	4,613E11
	SpanneHo	7,978	2,026	15,510	1	,000	2916,241	55,012	154593,839
	MaBeQu	-3253,364	804,770	16,343	1	,000	,000	,000	,000
	MiBeLa	2835,686	886,414	10,234	1	,001	^b	^b	^b
	MaBeLa	-2830,290	885,851	10,208	1	,001	,000	,000	,000
	MiBeQu	3253,511	804,225	16,366	1	,000	^b	^b	^b
	MiBeHo	8,892	2,895	9,434	1	,002	7275,576	24,981	2119001,165
	MaBeHo	0 ^c			0				

a. Die Referenzkategorie lautet: 33.

b. Beim Berechnen dieser Statistik ist ein Gleitkommaüberlauf aufgetreten. Der Wert wird auf den systemdefinierten fehlenden Wert gesetzt.

c. Dieser Parameter wird auf Null gesetzt, weil er redundant ist.

Beobachtet	Vorhergesagt					Prozent richtig
	11	22	23	32	33	
11	71,000000	0	0	0	0	100,0%
22	0	61,015680	1,664064	7,210944	1,109376	85,9%
23	0	0	63,636360	0	6,363636	90,9%
32	0	11,210520	1,494736	51,568392	6,726312	72,6%
33	0	7,100000	7,100000	3,550000	53,250000	75,0%
Prozent insgesamt	20,1%	22,4%	20,9%	17,6%	19,1%	84,9%

Prozentsatz der richtig vorhergesagten Fahrmanöver. Beispiel: 85,9% aller als „Fahrmanöver 22“ beobachteten Fahrmanöver, wurden auch als diese erkannt. Die restlichen 14,9% wurden als andere Fahrmanöver vorhergesagt.

Von allen beobachteten Fahrmanöver konnten insgesamt 84,9% auch als diese vorhergesagt/erkannt werden.

Abbildung 76: Klassifikationsmatrix

In allen drei Modellen wurde nach obenstehenden Kriterien für die Modellerstellung vorgegangen.

Ergebnisse:

1. Modell: MvKo5....**Manöver Kombination 5**

$$MvKo5 = f(MiBeLa, MaBeLa, MiBeQu, MaBeQu, , MiBeHo, MaBeHo)$$

Modell 1 kann mit einer Wahrscheinlichkeit von 80,9% ein Fahrmanöver richtig identifizieren. Der Vorteil in diesem Modell besteht darin, dass mithilfe weniger Variablen eine sehr gute Erklärung sowohl in Längsrichtung als auch in Querrichtung erfolgt.

2. Modell: MvLa3....**Manöver Längsrichtung 3** (unter Verwendung der gerichteten Beschleunigung)

$$MvLa3 = f(SpanneLa, SpanneQu)$$

Modell 2 kann mit einer Wahrscheinlichkeit von 86,4% ein Fahrmanöver in Längsrichtung richtig identifizieren. Das Modell erzielt mit lediglich zwei Variablen ein gutes Ergebnis. Der Grund, dass Modell 2 gegenüber Modell 1 einen höheren Erklärungswert liefert (trotz weniger Variablen), liegt in darin, dass Modell 1 gegenüber Modell 2 wesentlich komplexer ist und lediglich 3 anstatt 5 Manöver unterschieden werden müssen.

3. Modell: MvLa3.... **Manöver Längsrichtung 3** (unter Verwendung der resultierenden Beschleunigung)

$$MvLa3 = f(MwBeRes, SpanneRes)$$

Modell 3 kann mit einer Wahrscheinlichkeit von 70,6% ein Fahrmanöver in Längsrichtung richtig identifizieren. Bei den Daten, welche in das Modell 3 eingehen, handelt es sich resultierende Beschleunigungswerte. Bei Modell 2 um ausgerichteten Beschleunigungswerte. Der Erklärungsverlust beträgt somit bei der Verwendung der resultierenden Beschleunigung gegenüber der ausgerichteten Beschleunigung (Modell 2) 15,8%.

Alle detaillierten Ausgebeprotokolle sind im Anhang nachzulesen.

5. Schlussfolgerungen

Für die Beschleunigungsuntersuchungen im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Pkw mit einem Fahrer verwendet. Die Ergebnisse sind daher sehr fahrer- und fahrzeugspezifisch. Es ist damit zu rechnen, dass unterschiedliche Fahrzeuge und LenkerInnen zwar ähnliche aber doch deutlich andere Ergebnisse hervorbringen können. Weitere Umstände, welche die Ergebnisse zum Teil mitbeeinflussen, beziehungsweise andere Ergebnisse hervorbringen können, sind:

- schwach motorisierte Fahrzeuge (<50 kW) beziehungsweise stark motorisierte Fahrzeuge (>100 kW) lassen andere Beschleunigungsverläufe zu. Die Beschleunigungswerte könnten auch sehr fahrzeugspezifisch sein; Geländefahrzeuge haben andere Dämpfungseigenschaften als vergleichsweise Sportwagen. Die Bremsleistung neuerer Pkw ist ebenfalls viel besser als bei etwas älteren Modellen. Beschleunigungskurven eines Automatik-Getriebes im Vergleich zu einer manuellen Schaltung sollten deutlich anders ausfallen. All dies sind Faktoren, welche einen Einfluss auf das Fahrverhalten und somit auf die Beschleunigungswerte haben, jedoch nicht im Rahmen dieser Arbeit untersucht wurden.
- Unterschiedliche Fahrstile unterschiedlicher Personen lassen Abweichungen in den Beschleunigungswerte erwarten.
- Den statistischen Modellen liegen Daten zu Grunde, welche bei einer Stadtfahrt aufgenommen wurden. Aufgrund unterschiedlicher Straßentrassierungen innerorts und im Freiland, sind ebenfalls Unterschiede in den Modellergebnissen zu erwarten. Die erstellten statistischen Modelle dieser Arbeit sind für Straßen außerhalb geschlossener Ortschaften nur bedingt gültig. Den Modellen liegen Daten im Ausmaß von ca. 17 Minuten zu Grunde. Um ein Modell, welches sowohl bei Freilandfahrten als auch bei Stadtfahrten gültig ist, wären weitere Versuchsfahrten notwendig.

Im Laufe dieser Arbeit zeigte sich, dass lediglich grundlegende Teilbereiche der Bewegungscharakteristik erforscht werden konnten. Weitere Forschungsfragen erfordern über den Umfang dieser Arbeit hinausgehende weitere Untersuchungen.

Quellen

BÜHL A.: SPSS 14 Einführung in die moderne Datenanalyse, 10 überarbeitete und erweiterte Auflage, München 2006

Google Maps, Kartenmaterial, regelmäßige Zugriffe zwischen Oktober 2010 und März 2012

<http://home.foni.net/~michaelbosch/auto/economic/calculat.htm>

http://www.alle-autos-in.de/volkswagen/volkswagen_golf_19_tdi_a531.shtml

WALLY R. (o. J.): Aufbereitung von Rohdaten zur weiteren statistischen Analyse für automatische Verkehrsmittelerhebungen, Universität für Bodenkultur Wien, bisher unveröffentlichte Diplomarbeit

Wikipedia.org; Allgemeine Fahrdynamik; Zugriff am 19.11.2011

Anhang:

Ausgabeprotokoll Modell 1

```

NOMREG MvKo5 (BASE=LAST ORDER=ASCENDING) WITH MiBeLa MaBeLa MiBeQu MaBeQu M
iBeHo MaBeHo
  /CRITERIA CIN(95) DELTA(0) MXITER(100) MXSTEP(5) CHKSEP(20) LCONVERGE(0)
PCONVERGE(0.000001) SINGULAR(0.00000001)
  /MODEL
  /STEPWISE=PIN(.05) POUT(0.1) MINEFFECT(0) RULE(SINGLE) ENTRYMETHOD(LR) RE
MOVALMETHOD(LR)
  /INTERCEPT=INCLUDE
  /PRINT=CLASSTABLE PARAMETER SUMMARY LRT CPS STEP MFI.
    
```

Nominale Regression

Verarbeitete Fälle

	Anzahl	Rand- Prozentsatz
MvKo5 11	71,000000	20,1%
22	71,000064	20,1%
23	69,999996	19,8%
32	70,999960	20,1%
33	71,000000	20,1%
Gültig	354,000020	100,0%
Fehlend	,000000	
Gesamt	354,000020	
Teilgesamtheit	287 ^a	

a. Die abhängige Variable hat nur einen in 287 (100,0%) Teilgesamtheiten beobachteten Wert.

Informationen zur Modellanpassung

Modell	Kriterien für die Modellanpassung	Likelihood-Quotienten-Tests		
		-2 Log-Likelihood	Chi-Quadrat	Freiheitsgrade
Nur konstanter Term	1,139E3			
Endgültig	358,200	781,270	24	,000

Pseudo-R-Quadrat

Cox und Snell	,890
Nagelkerke	,927
McFadden	,666

Likelihood-Quotienten-Tests

Effekt	Kriterien für die Modellanpassung	Likelihood-Quotienten-Tests		
		-2 Log-Likelihood für reduziertes Modell	Chi-Quadrat	Freiheitsgrade
Konstanter Term	378,560	20,360	4	,000
MiBeLa	492,114	133,913	4	,000
MaBeLa	479,058	120,858	4	,000
MiBeQu	606,604	248,404	4	,000
MaBeQu	531,243	173,043	4	,000
MiBeHo	366,161	7,960	4	,093
MaBeHo	388,553	30,352	4	,000

Die Chi-Quadrat-Statistik stellt die Differenz der -2 Log-Likelihoods zwischen dem endgültigen Modell und einem reduzierten Modell dar. Das reduzierte Modell wird berechnet, indem ein Effekt aus dem endgültigen Modell weggelassen wird. Hierbei liegt die Nullhypothese zugrunde, nach der alle Parameter dieses Effekts 0 betragen.

Parameterschätzer

MvKo5 [®]		B	Standardfehler	Wald	Freiheitsgrade	Signifikanz
11	Konstanter Term	-68,442	151,115	,205	1	,651
	MiBeLa	23,479	15,723	2,230	1	,135
	MaBeLa	-11,286	7,032	2,576	1	,109
	MiBeQu	16,409	10,188	2,594	1	,107
	MaBeQu	-21,639	14,632	2,187	1	,139
	MiBeHo	9,029	9,716	,864	1	,353
	MaBeHo	-,021	14,001	,000	1	,999
22	Konstanter Term	-40,328	19,609	4,229	1	,040
	MiBeLa	3,281	,531	38,194	1	,000
	MaBeLa	-2,612	,595	19,295	1	,000
	MiBeQu	4,644	,785	35,030	1	,000
	MaBeQu	-2,720	,545	24,906	1	,000
	MiBeHo	-,004	,820	,000	1	,996
	MaBeHo	4,796	1,348	12,668	1	,000

a. Die Referenzkategorie lautet: 33.

Parameterschätzer

MvKo5 ^a	Exp(B)	95% Konfidenzintervall für Exp (B)		
		Untergrenze	Obergrenze	
11	Konstanter Term			
	MiBeLa	1,573E10	,001	3,808E23
	MaBeLa	1,254E-5	1,295E-11	12,142
	MiBeQu	13380326,873	,028	6,285E15
	MaBeQu	4,002E-10	1,404E-22	1141,152
	MiBeHo	8342,801	4,475E-5	1,555E12
	MaBeHo	,979	1,183E-12	8,106E11
22	Konstanter Term			
	MiBeLa	26,615	9,401	75,350
	MaBeLa	,073	,023	,235
	MiBeQu	103,915	22,328	483,620
	MaBeQu	,066	,023	,192
	MiBeHo	,996	,200	4,968
	MaBeHo	121,074	8,629	1698,750

a. Die Referenzkategorie lautet: 33.

Parameterschätzer

MvKo5 ^a	B	Standardfehler	Wald	Freiheitsgrade	Signifikanz	
23	Konstanter Term	-17,503	14,681	1,422	1	,233
	MiBeLa	2,316	,410	31,956	1	,000
	MaBeLa	-2,052	,471	18,966	1	,000
	MiBeQu	-,847	,327	6,713	1	,010
	MaBeQu	,479	,243	3,886	1	,049
	MiBeHo	,116	,646	,033	1	,855
	MaBeHo	1,759	,999	3,099	1	,078
32	Konstanter Term	-68,425	18,318	13,953	1	,000
	MiBeLa	,985	,400	6,055	1	,014
	MaBeLa	,805	,406	3,936	1	,047
	MiBeQu	3,744	,641	34,065	1	,000
	MaBeQu	-2,732	,474	33,240	1	,000
	MiBeHo	1,299	,705	3,390	1	,066
	MaBeHo	5,911	1,321	20,032	1	,000

a. Die Referenzkategorie lautet: 33.

Parameterschätzer

MvKo5 [®]	Exp(B)	95% Konfidenzintervall für Exp (B)	
		Untergrenze	Obergrenze
23	Konstanter Term		
	MiBeLa	10,138	4,541
	MaBeLa	,128	,051
	MiBeQu	,429	,226
	MaBeQu	1,614	1,003
	MiBeHo	1,125	,317
	MaBeHo	5,804	,819
32	Konstanter Term		
	MiBeLa	2,677	1,222
	MaBeLa	2,236	1,010
	MiBeQu	42,257	12,020
	MaBeQu	,065	,026
	MiBeHo	3,665	,920
	MaBeHo	369,015	27,727

a. Die Referenzkategorie lautet: 33.

Klassifikation

Beobachtet	Vorhergesagt			
	11	22	23	32
11	70,290000	,710000	0	0
22	,554688	58,242240	2,773440	7,765632
23	0	0	57,272724	0
32	0	13,452624	0	54,557864
33	0	7,100000	7,100000	10,650000
Prozent insgesamt	20,0%	22,5%	19,0%	20,6%

Klassifikation

Beobachtet	Vorhergesagt	
	33	Prozent richtig
11	0	99,0%
22	1,864064	82,0%
23	12,727272	81,8%
32	2,989472	76,8%
33	46,150000	65,0%
Prozent insgesamt	17,9%	80,9%

Ausgabeprotokoll Modell 2

```

NOMREG MvLa3 (BASE=LAST ORDER=ASCENDING) WITH SpanneLa SpanneQu
  /CRITERIA CIN(95) DELTA(0) MXITER(100) MXSTEP(5) CHKSEP(20) LCONVERGE(0)
PCONVERGE(0.000001) SINGULAR(0.00000001)
  /MODEL
  /STEPWISE=PIN(.05) POUT(0.1) MINEFFECT(0) RULE(SINGLE) ENTRYMETHOD(LR) RE
MOVALMETHOD(LR)
  /INTERCEPT=INCLUDE
  /PRINT=CLASSTABLE PARAMETER SUMMARY LRT CPS STEP MFI.
    
```

Nominale Regression

Verarbeitete Fälle

	Anzahl	Rand-Prozentsatz
MvLa3 1	100	28,2%
2	139	39,3%
3	115	32,5%
Gültig	354	100,0%
Fehlend	1	
Gesamt	355	
Teilgesamtheit	149 ^a	

a. Die abhängige Variable hat nur einen in 121 (81,2%) Teilgesamtheiten beobachteten Wert.

Informationen zur Modellanpassung

Modell	Kriterien für die Modellanpassung	Likelihood-Quotienten-Tests		
		-2 Log-Likelihood	Chi-Quadrat	Freiheitsgrade
Nur konstanter Term	707,715			
Endgültig	163,780	543,935	4	,000

Pseudo-R-Quadrat

Cox und Snell	,785
Nagelkerke	,885
McFadden	,705

Likelihood-Quotienten-Tests

Effekt	Kriterien für die Modellanpassung	Likelihood-Quotienten-Tests		
	-2 Log-Likelihood für reduziert es Modell	Chi-Quadrat	Freiheitsgrade	Signifikanz
Konstanter Term	512,091	348,311	2	,000
SpanneLa	342,172	178,392	2	,000
SpanneQu	210,366	46,586	2	,000

Die Chi-Quadrat-Statistik stellt die Differenz der -2 Log-Likelihoods zwischen dem endgültigen Modell und einem reduziertem Modell dar. Das reduzierte Modell wird berechnet, indem ein Effekt aus dem endgültigen Modell weggelassen wird. Hierbei liegt die Nullhypothese zugrunde, nach der alle Parameter dieses Effekts 0 betragen.

Parameterschätzer

MvLa3 ^a		B	Standardfehler	Wald	Freiheitsgrade	Signifikanz
1	Konstanter Term	11,537	1,860	38,471	1	,000
	SpanneLa	-11,208	2,803	15,988	1	,000
	SpanneQu	-12,785	3,792	11,368	1	,001
2	Konstanter Term	3,793	,484	61,305	1	,000
	SpanneLa	-2,406	,296	65,950	1	,000
	SpanneQu	,059	,191	,266	1	,606

a. Die Referenzkategorie lautet: 3.

Parameterschätzer

MvLa3 ^a		Exp(B)	95% Konfidenzintervall für Exp(B)	
			Untergrenze	Obergrenze
1	Konstanter Term			
	SpanneLa	1,357E-5	5,579E-8	,003
	SpanneQu	2,802E-6	1,658E-9	,005
2	Konstanter Term			
	SpanneLa	,090	,050	,161
	SpanneQu	1,104	,759	1,606

a. Die Referenzkategorie lautet: 3.

Klassifikation

Beobachtet	Vorhergesagt			Prozent richtig
	1	2	3	
1	98	2	0	98,0%
2	2	121	16	87,1%
3	0	28	87	75,7%
Prozent insgesamt	28,2%	42,7%	29,1%	86,4%

Ausgabeprotokoll Modell 3

```

NOMREG MvLa3 (BASE=LAST ORDER=ASCENDING) WITH MwBeRes SpanneRes
  /CRITERIA CIN(95) DELTA(0) MXITER(100) MXSTEP(5) CHKSEP(20) LCONVERGE(0)
PCONVERGE(0.000001) SINGULAR(0.00000001)
  /MODEL
  /STEPWISE=PIN(.05) POUT(0.1) MINEFFECT(0) RULE(SINGLE) ENTRYMETHOD(LR) RE
MOVALMETHOD(LR)
  /INTERCEPT=INCLUDE
  /PRINT=CLASSTABLE PARAMETER SUMMARY LRT CPS STEP MFI.
    
```

Nominale Regression

Verarbeitete Fälle

	Anzahl	Rand-Prozentsatz
MvLa3 1	100	28,2%
2	139	39,3%
3	115	32,5%
Gültig	354	100,0%
Fehlend	1	
Gesamt	355	
Teilgesamtheit	325 ^a	

a. Die abhängige Variable hat nur einen in 325 (100,0%) Teilgesamtheiten beobachteten Wert.

Informationen zur Modellanpassung

Modell	Kriterien für die Modellanpassung	Likelihood-Quotienten-Tests		
		-2 Log-Likelihood	Chi-Quadrat	Freiheitsgrade
Nur konstanter Term	771,310			
Endgültig	393,108	378,202	4	,000

Pseudo-R-Quadrat

Cox und Snell	,656
Nagelkerke	,740
McFadden	,490

Likelihood-Quotienten-Tests

Effekt	Kriterien für die Modellanpassung	Likelihood-Quotienten-Tests		
	-2 Log-Likelihood für reduziertes Modell	Chi-Quadrat	Freiheitsgrade	Signifikanz
Konstanter Term	420,110	27,002	2	,000
MwBeRes	418,719	25,611	2	,000
SpanneRes	729,996	336,888	2	,000

Die Chi-Quadrat-Statistik stellt die Differenz der -2 Log-Likelihoods zwischen dem endgültigen Modell und einem reduziertem Modell dar. Das reduzierte Modell wird berechnet, indem ein Effekt aus dem endgültigen Modell weggelassen wird. Hierbei liegt die Nullhypothese zugrunde, nach der alle Parameter dieses Effekts 0 betragen.

Parameterschätzer

MvLa3 ^{ab}		B	Standardfehler	Wald	Freiheitsgrade	Signifikanz
1	Konstanter Term	249,144	87,615	8,086	1	,004
	MwBeRes	-24,741	8,911	7,708	1	,005
	SpanneRes	-13,775	2,416	32,510	1	,000
2	Konstanter Term	20,908	6,684	9,786	1	,002
	MwBeRes	-2,084	,677	9,464	1	,002
	SpanneRes	-,082	,155	,282	1	,595

a. Die Referenzkategorie lautet: 3.

Parameterschätzer

MvLa3 ^{ab}	Exp(B)	95% Konfidenzintervall für Exp(B)	
		Untergrenze	Obergrenze
1	Konstanter Term		
	MwBeRes	1,800E-11	,001
	SpanneRes	1,041E-6	,000
2	Konstanter Term		
	MwBeRes	,124	,469
	SpanneRes	,921	1,248

a. Die Referenzkategorie lautet: 3.

Klassifikation

Beobachtet	Vorhergesagt			
	1	2	3	Prozent richtig
1	96	4	0	96,0%
2	4	120	15	88,3%
3	4	77	34	29,6%
Prozent insgesamt	29,4%	56,8%	13,8%	70,6%

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Messgerät Mobitest GSL der Firma MGE Data in Prag	4
Abbildung 2: Messrichtung des Beschleunigungssensors	5
Abbildung 3: Versuchsfahrzeug VW Golf V 77 kW (105 PS) TDI.....	6
Abbildung 4: Geräteanordnung im Versuchsauto	7
Abbildung 5: Datensatz mit Informationen über GPS- Daten, Seehöhe, Aufnahmezeit, Aufnahmezeit, eventuell gedrückte Buttons	8
Abbildung 6: Mobitest- Daten, dargestellt in Google Map View; an den gekennzeichneten Stellen, wurde ein gewisser Button (vergleiche Abbildung 1 und Tabelle 1) gedrückt	9
Abbildung 7: Beschleunigungswerte (ID....fortlaufende Zeit in Sekunden; XACC....Beschleunigung in die Querrichtung; YACC....Beschleunigung in die Längsrichtung; ZACC....Beschleunigung in die Fahrzeughochrichtung).....	9
Abbildung 8: Kammscher Kreis; Quelle: Wikipedia.org	11
Abbildung 9: mit der Wasserwaage horizontal ausgerichtetes Messgerät	17
Abbildung 10: Die Querbeschleunigung der zwei Geräte bei verschiedenen Versuchen mit horizontaler Ausrichtung	18
Abbildung 11: Die Längsbeschleunigung der zwei Geräte bei verschiedenen Versuchen mit horizontaler Ausrichtung.....	19
Abbildung 12: Die Hochbeschleunigung der zwei Geräte bei verschiedenen Versuchen mit horizontaler Ausrichtung.....	19
Abbildung 13: Querbeschleunigung des im ruhenden Auto aufgebauten Messgeräts	21
Abbildung 14: Längsbeschleunigung des im ruhenden Auto aufgebauten Messgeräts	21
Abbildung 15: Längsbeschleunigung des im ruhenden Auto aufgebauten Messgeräts	22
Abbildung 16: Auswertung des Beschleunigungsversuches	23
Abbildung 17: Auswertung des Verzögerungsversuches	25
Abbildung 18: Auswertung des Beschleunigungsversuches 0-100 km/h.....	26
Abbildung 19: Auswertung des Versuches moderates Beschleunigen.....	27
Abbildung 20: Amundsenstraße in Wien, Fahrtrichtung Penzing- in welche der Versuch durchgeführt wurde.....	29
Abbildung 21: Auswertung des Versuches „Herunterschalten“.....	30
Abbildung 22: Standort der Versuchsdurchführung, Quelle: Google Maps (18.11.2011).....	31
Abbildung 23: Auswertung Rechtskurve	32
Abbildung 24: Auswertung Linkskurve	32
Abbildung 25: Auf dem linken Foto ist die zu durchfahrene Rechtskurve und im rechten Foto die zu durchfahrene Linkskurve zu sehen.....	33
Abbildung 26: Auswertung Rechts-/ Linkskurve.....	33
Abbildung 27: Kreisverkehr Neuwaldeggerstraße/ Exelbergstarße, Quelle: Google Maps am 20.11.2011	34
Abbildung 28: Versuchsstrecke: Fahrtrichtung von der Exelbergstrasse kommend. Ausfahrt 1 in die Neuwaldegger Straße Richtung Wien Penzing. Ausfahrt 2 ebenso in die Neuwaldegger Straße Richtung Wien Höhenstrasse.	35
Abbildung 29: Ausfahrt 1 mit Fahrtrichtung.....	36
Abbildung 30: Versuch Kreisverkehr- Ausfahrt 1: Die Querbeschleunigung verhält sich wie bei dem Durckfahren einer gewöhnlichen Kurve.	36
Abbildung 31: Ausfahrt 2 mit Fahrtrichtung.....	37

Abbildung 32: Versuch Kreisverkehr- Ausfahrt 2	37
Abbildung 33: Verkehrsinsel auf der L6046; Fahrtrichtung Köchling	38
Abbildung 34: Versuch Verkehrsinsel; auffällig die Ähnlichkeit zum Versuch Kreisverkehr Ausfahrt 2 (vergleiche Abbildung 32).....	39
Abbildung 35: Teilabschnitt der Versuchsstrecke, Quelle: Google Maps am 10.12.2011.....	40
Abbildung 36: Versuch Landstraße- Teil 1	41
Abbildung 37: Versuch Landstraße- Teil 2	41
Abbildung 38: Ausschnitt Sekunde 240- 260.....	42
Abbildung 39: Ausschnitt Sekunde 360-380.....	42
Abbildung 40: Pflastersteine der Versuchsstrecke, Kleinpflaster (9x9 cm).....	44
Abbildung 41: auf dem linken Bild die Versuchsstrecke und dem rechten Bild die Pflasterdecke	44
Abbildung 42: Ausschnitt über die Versuchsfahrt- Sekunde 60- 65	45
Abbildung 43: Ausschnitt über die Versuchsfahrt- Sekunde 90- 95	45
Abbildung 44: Ausschnitt aus dem Versuch- Befahren einer Autobahn mit Betonfahrbahn; Darstellung der Sekunde 60- 80.....	47
Abbildung 45: Ausschnitt aus dem Versuch- Befahren einer Autobahn mit Betonfahrbahn; Darstellung der Sekunde 100- 120.....	47
Abbildung 46: Ausschnitt aus dem Versuch- Befahren einer Autobahn mit Asphaltfahrbahn- Darstellung der Sekunde 60- 80	48
Abbildung 47: Ausschnitt aus dem Versuch- Befahren einer Autobahn mit Asphaltfahrbahn- Darstellung der Sekunde 100- 120	49
Abbildung 48: Ausschnitt Betonfahrbahn Sekunde 66, 67 und 68	50
Abbildung 49: Ausschnitt Betonfahrbahn Sekunde 73, 74 und 75	50
Abbildung 50: Ausschnitt Asphaltfahrbahn Sekunde 71, 72 und 73.....	51
Abbildung 51: Ausschnitt Asphaltfahrbahn Sekunde 107, 108 und 109.....	51
Abbildung 52: Versuch Straßenbahntrasse	53
Abbildung 53: Die Versuchsstrecke, Gersthofenstraße in 1180 Wien.....	54
Abbildung 54: Versuch Straßenbahngleistrasse Sekunde 11,12 und 13	54
Abbildung 55: Versuch Straßenbahngleistrasse Sekunde 18,19 und 20	55
Abbildung 56: Skizze mit den Abmessungen der Rampe (Gesamtlänge 6,5m; 7,4% Rampenneigung)	57
Abbildung 57: Fahrbahnanhebung, Wien Türkenschanzplatz	57
Abbildung 58: Auswertung des Versuchs- Überfahren einer Fahrbahnanhebung	58
Abbildung 59: Beschleunigung ausgerichtetes Gerät- Ausschnitt von 18:08:42 Uhr bis 18:10:22 Uhr	60
Abbildung 60: Beschleunigung ungerichtetes Gerät- Ausschnitt von 18:08:42 Uhr bis 18:10:22 Uhr	60
Abbildung 61: Beschleunigung ausgerichtetes Gerät- Ausschnitt von 18:10:22 Uhr bis 18:12:01 Uhr	61
Abbildung 62: Beschleunigung ungerichtetes Gerät- Ausschnitt von 18:10:22 Uhr bis 18:12:01 Uhr	61
Abbildung 63: Vergleich der Resultierenden- Ausschnitt 18:08:42 Uhr bis 18:08:51 Uhr	63
Abbildung 64: Vergleich der Resultierenden- Ausschnitt 18:10:22 Uhr bis 18:10:31 Uhr	63
Abbildung 65: blaue Kurve- Resultierende Beschleunigung ausgerichtetes Gerät, rote Kurve- Resultierende Beschleunigung ungerichtetes Gerät	64
Abbildung 66: gewählte Strecke der Versuchsfahrt; Quelle: Google Preview aus dem Programm „Mobitest“ der Firma MGE Daten in Prag.....	67
Abbildung 67: Aufnahmegerät; mit Hilfe der einzelnen Knöpfe wurden die Fahrzustände protokolliert.	68

Abbildung 68: Auszug aus dem Messprotokoll (Bei ID 863- entspricht Sekunde 863 der Versuchsfahrt- wurde ein Verzögerungsmanöver durchgeführt); Quelle: Messprotokollauszug aus dem Programm „Mobitest“ der Firma MGE Daten in Prag.....	69
Abbildung 69: Ausschnitt Längsbeschleunigung Sekunde 571-600 inklusive unterschiedlicher Phasen an Fahrmanövern.....	70
Abbildung 70: Ausschnitt Querb beschleunigung Sekunde 481-510 inklusive unterschiedlicher Phasen an Fahrmanövern.....	70
Abbildung 71: Codierung der Manöverkombination mit 5 grundsätzlichen Möglichkeiten.....	76
Abbildung 72: während eines Beschleunigungsvorgangs (grüne Linie), kommt es kurzzeitig zu Beschleunigungswerten, welche eigentlich jenen des Fahrmanövers „Dahinrollen“ sehr ähnlich sind (Beschleunigungswerte in den roten Ellipsen).....	77
Abbildung 73: Warnungen und Gleichverteilung der Fahrmanöver	79
Abbildung 74: Beurteilung des Modells nach "Pseudo- R- Quadrat" und "McFadden"	80
Abbildung 75: Beurteilung des Modells nach der "Signifikanz" und nach "chi- Quadrat".....	80
Abbildung 76: Klassifikationsmatrix	82

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Die 6 Knöpfe am Mobitest GSL (Version für Verkehrsmittel und 2 Wegzwecke) und die beim Drücken abgelegten Werte	4
Tabelle 2: Messergebnisse.....	20
Tabelle 3: Versuchsergebnis getrennt nach Messgeräten und Durchgängen	22
Tabelle 4: Ergebnisvergleich.....	28
Tabelle 5: Ergebnisse Versuch Landstraße	43
Tabelle 6: Ergebnisse der Hochbeschleunigung im Kopfsteinpflasterversuch	46
Tabelle 7: Ergebnisse der Hochbeschleunigung im Autobahnversuch mit Betondecke	48
Tabelle 8: Ergebnisse der Hochbeschleunigung im Autobahnversuch mit Asphaltdecke	49
Tabelle 9: Ergebnisse der Vertikalbeschleunigung im Straßenbahntrassenversuch.....	56
Tabelle 10: statistische Auswertung des ausgerichteten und des ungerichteten Gerätes. Die Zuordnung der Werte in die Hoch, Quer und Längsrichtung des ungerichteten Gerätes konnte nur Anhand des Vergleiches mit den Beschleunigungskurven des gerichteten Gerätes erfolgen	65
Tabelle 11: Grundlage für die Erhebung der Fahrzustände.....	68
Tabelle 12: Ergebnisse der Längsbeschleunigung.....	71
Tabelle 13: Statistische Betrachtung der Beschleunigungs- und Verzögerungsmanöver nach deren Dauer und Amplitude	72
Tabelle 14: Ergebnisse zur Querbeschleunigung	72
Tabelle 15: Statistische Betrachtung der Beschleunigungs- und Verzögerungsmanöver nach deren Dauer und Amplitude	73
Tabelle 16: Ergebnisse zur Hochbeschleunigung.....	73
Tabelle 17: statistische Größen für die multinominale logistische Regression.....	77
Tabelle 18: Parameterschätzer.....	81

