



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Masterarbeit

Jan-Henrik Wagner

Validierung der IFU-Messbox zur Aufzeichnung von Bewegungsdaten

Jan-Henrik Wagner
Validierung der IFU-Messbox zur Aufzeichnung von Bewegungsdaten

Masterarbeit eingereicht im Rahmen der Masterprüfung

im Studiengang Fahrzeugbau
am Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

in Zusammenarbeit mit:

IFU-Hamburg Institut für Unfallanalysen Diplom-Physiker Ingenieure Weber PartG
Oberaltenallee 16
22081 Hamburg

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Dirk Adamski
Zweitprüfer: Dr.-Ing. Jan-Cord Rodenberg

Abgabedatum: 13.01.2016

Zusammenfassung

Name des Studierenden

Jan-Henrik Wagner

Thema der Masterarbeit:

Validierung der IFU-Messbox zur Aufzeichnung von Bewegungsdaten

Stichworte

Validierung, Messsystem, Beschleunigungssensor, Drehratensensor, Kollisionsversuch

Ziel dieser Arbeit ist es, das neu entwickelte Messsystem des IFU-Hamburg zu überprüfen. Das neue Messsystem soll mit anderen bewährten Messsystemen verglichen werden. Dazu wurden vier verschiedene Versuchsarten geplant, aufgebaut und durchgeführt: Vorversuche, Laborversuche, Fahrversuche und Kollisionsversuche. Der Schwerpunkt liegt auf der Auswertung der Laborversuche. Die IFU-Messbox hat sich dabei als verlässliches und funktionierendes Messsystem gezeigt.

Abstract

Name of Student

Jan-Henrik Wagner

Title of the paper

Validation of the IFU-Messbox for recording of motion data

Keywords

Validation, Measuring system, acceleration sensors, gyroscopes, crashtest

The aim of this work is to verify the newly developed measuring system of IFU-Hamburg. The new measuring system is to be compared with other proven measuring systems. For this purpose, four different types of experiments were planned, constructed and executed: preliminary tests, laboratory tests, driving tests and collision tests. The focus is on the evaluation of laboratory tests. The IFU measuring box has shown itself as a reliable and functioning measuring system.

Danksagung

Ich bedanke mich herzlich bei allen Personen, die mich bei der Entstehung dieser Arbeit mit Wort und Tat unterstützt haben. Ohne Sie/euch und Ihre/eure Hilfe wäre diese Arbeit nicht zustande gekommen.

Besonders möchte ich mich bei Prof. Dr.-Ing. Dirk Adamski bedanken, der mich in Hinblick auf die Umsetzung dieser Arbeit persönlich gut beraten hat.

Mein besonderer Dank gilt dem IFU-Hamburg, persönlich Herrn Michael Weber, Herrn Thomas Schatz, Herr Ercan Senatli und Herrn Martin Windisch für die Unterstützung dieser Arbeit. Speziell Herrn Dr. Jan-Cord Rodenberg und Herrn Jens Johannsen möchte ich an dieser Stelle danken, da sie immer ein offenes Ohr hatten und äußerst hilfsbereit waren.

Für die Bereitstellung von Materialien und persönliche Unterstützung danke ich sehr Herrn Roy Strzeletz von der Unfallanalyse Berlin und Herrn Herbert Theilen vom Leichtbaulabor der HAW.

And last but not least, danke ich ganz herzlich meiner Frau und Familie für die moralische Unterstützung während der Bearbeitungszeit.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	I
Danksagung	II
Inhaltsverzeichnis	III
Abkürzungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VI
Abbildungsverzeichnis	VII
1. Einleitung	9
Überblick: Das Unternehmen IFU und die Aufgaben	9
Handlungsbedarf	9
Ziel der Arbeit	10
Aufbau der Arbeit	10
2. Grundlagen	11
Vorgehensweise	11
Identifikation der Versuche	13
Verwendete Programme:	14
Messdatenerfassung	15
Angewendete statistische Verfahren	17
Fahrdynamik	19
Längsdynamik	20
Querdynamik	20
Vertikaldynamik	20
Verwendete Sensoren	21
3. Geräte	23
PicDAQ 5	23
PocketDAQ	25
Unfalldatenspeicher UDS	28
DL1 Data Logger	31
IFU-Messbox	33
4. Versuche	35
Grundaufbau	35
Vorversuche	37
Planung	37
Aufbau	37
Durchführung	38
Beobachtung	39

Auswertung	39
Laborversuche	45
Planung	45
Aufbau	47
Durchführung	50
Beobachtung	51
Auswertung der Beschleunigung von den internen Sensoren.....	52
Statistische Auswertung	60
Auswertung Rauschen	69
Auswertung der externen Sensoren	70
Fahrversuche	72
Planung	72
Aufbau	72
Durchführung	74
Beobachtung	74
Auswertung	75
Kollisionsversuche (KV).....	82
Allgemein.....	82
Planung KV 1.....	82
Aufbau KV 1.....	83
Durchführung KV 1	84
Beobachtung KV 1.....	84
Auswertung KV 1	85
Planung KV 2.....	91
Aufbau KV 2.....	91
Durchführung KV 2	92
Beobachtung KV 2.....	93
Auswertung KV 2	94
5. Zusammenfassung.....	98
6. Ausblick	100
Anhang	103
A Versuchsprotokolle Laborversuche	103
B CD.....	105

Abkürzungsverzeichnis

Ges.m.b.H:	Österr.: Gesellschaft mit beschränkter Haftung
PCMCIA:	Personal Computer Memory Card International Association
Hz:	Hertz
PID	Messplattform PicDAQ der Firma DSD
POD	Messplattform PocketDAQ der Firma DSD
UDS	Unfalldatenschreiber
IFU	Institut für Unfallanalysen Hamburg
r.d.	Rund, circa
G	Erdbeschleunigung
WW	Wasserwaage
TXT	Dateiformat; Text-Datei
CSV	Dateiformat; Engl.: Comma-separated values
VV	Vorversuch
MAV	Laborversuche
FV	Fahrversuche
KV	Kollisionsversuche

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Versuchsprotokoll Vorversuche	39
Tabelle 2 Ergebnistabelle Vorversuche	44
Tabelle 3 Maxima Mittelwerte sortiert nach Winkel des Aufbaus bei 30° Auslenkung	62
Tabelle 4 Minima Mittelwerte sortiert nach Winkel des Aufbaus bei 30° Auslenkung	62
Tabelle 5 Maxima Mittelwerte sortiert nach Winkel des Aufbaus bei 70° Auslenkung	65
Tabelle 6 Minima Mittelwerte sortiert nach Winkel des Aufbaus bei 70° Auslenkung	65
Tabelle 7 Prozentuale Abweichung der Zeitdauer	68
Tabelle 8 Ergebnisse FV 1.....	78
Tabelle 9 Berechnungen Nickwinkel-Differenz.....	81

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Vorgehen bei der Datenauswertung	12
Abbildung 2 Beispiel zur Normalverteilung	18
Abbildung 3 Koordinatensystem nach DIN 70000 [S. 21 [7]].....	19
Abbildung 4 Übersicht PicDAQ 5.....	23
Abbildung 5 Übersicht PocketDAQ	25
Abbildung 6 Übersicht UDS	28
Abbildung 7 Platine zur UDS-Steuerung [s. S.23 [14]]	29
Abbildung 8 DL1 Frontansicht.....	31
Abbildung 9 DL1 Aufbau am IFU-Hamburg	32
Abbildung 10 IFU-Messbox [19]	33
Abbildung 11 Übersicht Grundplatte	35
Abbildung 12 Übersicht Geräteträger	36
Abbildung 13 Geräte auf dem Rollbrett	37
Abbildung 14 Globales und lokales Koordinatensystem	38
Abbildung 15 Winkel VV2 PID	40
Abbildung 16 Winkel VV2 POD.....	40
Abbildung 17 Winkel VV2 IFU	41
Abbildung 18 VV9 1,7 G-Sensor	42
Abbildung 19 VV9 6 G Sensor	42
Abbildung 20 VV9 50 G-Sensor	42
Abbildung 21 Konzept 1: Schiefe Ebene	45
Abbildung 22 Konzept 2: Seilzüge.....	46
Abbildung 23 Skizze Aufbau Schlittenversuch, verändert nach [20]	47
Abbildung 24 Übersicht Schlittenversuch.....	48
Abbildung 25 Sensoren am Kopf	49
Abbildung 26 Sensoren an der Brust.....	49
Abbildung 27 Beschleunigung POD Versuch 1 bei 30° Auslenkung	52
Abbildung 28 Beschleunigung IFU Versuch 1 bei 30° Auslenkung.....	53
Abbildung 29 Beschleunigung UDS Versuch 1 bei 30° Auslenkung.....	54
Abbildung 30 Beschleunigung HAW Versuch 1 bei 30° Auslenkung	55
Abbildung 31 Detail IFU Versuch 1 bei 30° Auslenkung	56
Abbildung 32 Ausschnitt aus Elim-MAV_70_0_10_POD	57
Abbildung 33 Waagerechte Linien aus Elim-MAV_70_0_10_POD	57
Abbildung 34 Histogramm 6 G Ausreißer-eliminiert.....	58
Abbildung 35 Histogramm 6 G 100 Hz Filter	59
Abbildung 36 Auswertung der Maxima bei 30° Auslenkung	60
Abbildung 37 Auswertung der Minima bei 30° Auslenkung	61
Abbildung 38 Auswertung der Maxima bei 70° Auslenkung	63
Abbildung 39 Auswertung der Minima bei 70° Auslenkung.....	64

Abbildung 40 Zeitauswertung bei 30° Auslenkung	66
Abbildung 41 Zeitauswertung bei 70° Auslenkung	67
Abbildung 42 Auswertung Rauschen	69
Abbildung 43 Vergleich der Resultierenden am Kopf	70
Abbildung 44 Vergleich der Resultierenden an der Brust.....	71
Abbildung 45 Übersicht Fahrversuch.....	72
Abbildung 46 A-Klasse Rechtes Hinterrad mit Peiselerad	73
Abbildung 47 A-Klasse Front mit Ultraschallsensor	73
Abbildung 48 Fahrversuch 1 Beschleunigung IFU	75
Abbildung 49 FV 1 Beschleunigung DL1	76
Abbildung 50 FV1 Beschleunigung UDS	77
Abbildung 51 FV 1 Geschwindigkeit IFU	78
Abbildung 52 Histogramm 1,7 G Ausreißer-eliminiert.....	79
Abbildung 53 Ultraschallsensor Front.....	80
Abbildung 54 Ultraschallsensor Heck.....	80
Abbildung 55 Skizze Nickwinkel-Differenz	81
Abbildung 56 KV 1 Übersicht.....	82
Abbildung 57 KV 1 Anstoßzone	83
Abbildung 58 KV 1 Endstellung	84
Abbildung 59 KV 1 ungefilterter Beschleunigungsverlauf vom UDS – Übersicht	85
Abbildung 60 KV 1 ungefilterter Beschleunigungsverlauf vom UDS – Anstoß	86
Abbildung 61 KV 1 Ausreißer eliminiertes Beschleunigungsverlauf von der IFU- Messbox– Übersicht.....	87
Abbildung 62 KV 1 Ausreißer eliminiertes Beschleunigungsverlauf von der IFU- Messbox - Anstoß	87
Abbildung 63 KV 1 Beschleunigung von der IFU-Messbox am Kopf.....	88
Abbildung 64 KV 1 Beschleunigung von der IFU-Messbox an der Brust.....	88
Abbildung 65 KV 1 100-Hz-gefilterter Beschleunigungsverlauf vom PID – Übersicht	89
Abbildung 66 KV 1 100-Hz-gefilterter Beschleunigungsverlauf vom PID am Kopf....	90
Abbildung 67 KV 1 100-Hz-gefilterter Beschleunigungsverlauf vom PID an der Brust	90
Abbildung 68 KV 2 Übersicht.....	91
Abbildung 69 KV 2 Anstoßkonfiguration.....	92
Abbildung 70 KV 2 Anstoßbeginn.....	93
Abbildung 71KV 2 Die Karosserie des Ford federt leicht aus	93
Abbildung 72 KV 2 Beschleunigungsverlauf des POD	94
Abbildung 73 KV 2 Beschleunigungsverlauf des PID	95
Abbildung 74 KV 2 Beschleunigungsverlauf der IFU-Messbox	96
Abbildung 75 KV 2 Beschleunigungsverlauf der IFU-Messbox – Anstoß.....	97
Abbildung 76 16 G-Versuche.....	103
Abbildung 77 6 G-Versuch.....	104

1. Einleitung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Thema Messdatenerfassung eines neu entwickelten Messsystems. Das Thema der Arbeit ist aus dem Bedarf des IFU-Hamburg entstanden und wurde im Unternehmen bearbeitet. Nachfolgend wird kurz das Unternehmen IFU-Hamburg sowie der dortige Handlungsbedarf und das Ziel der Arbeit erläutert.

Überblick: Das Unternehmen IFU und die Aufgaben

Das Institut für Unfallanalysen (IFU Hamburg) befasst sich schwerpunktmäßig mit der Rekonstruktion von Straßenverkehrsunfällen. Zur Ausarbeitung von Unfallrekonstruktionsgutachten werden fallorientiert Unfall- und Fahrversuche durchgeführt. Hierbei werden die Beschleunigungen der Fahrzeuge in Längs-, Quer- und Hochrichtung sowie die Drehwinkelgeschwindigkeiten gemessen und rechnergestützt ausgewertet. Durch die Auswertung der Messdaten wird auf die Fahrzeugbewegungen zurückgeschlossen. Zur Beantwortung spezieller Fragestellungen der Unfallrekonstruktion werden zusätzlich externe Sensoren, wie z.B. ein Raddrehwinkelsensor oder 3-achsige Beschleunigungssensoren, verwendet.

Handlungsbedarf

Die vorhandene Messtechnik des IFU-Hamburg ist in die Jahre gekommen und sollte durch eine Neuentwicklung ersetzt werden. Bei der vorhandenen Messtechnik handelt es sich um einen PocketDAQ der Firma DSD, der bereits auf die Anforderungen des IFU-Hamburg umgebaut wurde. Da die Bedienung sowie das Energiekonzept nicht mehr aktuell waren, sollte die neue Messtechnik leichter bedienbar sein, präzisere Messwerte aufzeichnen sowie ein geringeres Rauschen aufweisen. Da die neue Messtechnik hausintern entwickelt und gebaut wurde, bedarf es einer Überprüfung der Messwerte.

Ziel der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die aufgezeichneten Messwerte der neu entwickelten IFU-Messbox zu validieren. Zu diesem Zweck sollen Kollisions- und Fahrversuche durchgeführt werden. Die dabei erfassten Messdaten werden mit der IFU-Messbox und parallel dazu mit anderen bewährten Messsystemen erfasst, ausgewertet und verglichen. Mittels reproduzierbarer Versuche sollen auch die Streuungen der Messungen betrachtet werden.

Aufbau der Arbeit

Im Anschluss zu dieser Einleitung werden die zur Verständnis der Arbeit beitragenden Grundlagen erläutert. Diese umfassen sowohl die Vorgehensweise und die verwendeten Programme als auch die Grundlagen der Messdatenerfassung, der Statistik und der Fahrdynamik sowie zu den verwendeten Sensoren. Kapitel 3 befasst sich mit den verwendeten Messsystemen. Jedes Messsystem wird einzeln betrachtet. Es werden deren technische Parameter und die Bedienung beschrieben.

Der vierte Abschnitt dieser Arbeit beschäftigt sich mit den durchgeführten Versuchen. Zunächst wird der Grundaufbau beschrieben. Der Grundaufbau beinhaltet eine Konstruktion, auf der alle Geräte vormontiert und ausgerichtet werden können, um sie gleichzeitig und möglichst kompakt bei den Versuchen einsetzen zu können. Darauf folgen die Darstellungen der Vorversuche, der Laborversuche, der Fahrversuche und als letztes der Kollisionsversuche. Der Aufbau der jeweiligen Versuchsbeschreibung beginnt mit der Planung. Darauf folgen der Aufbau, die Durchführung und die Auswertung. Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt auf der Auswertung der Laborversuche, sodass in diesem Fall die Analyse umfangreicher erfolgt. Da die beiden Kollisionsversuche relativ unterschiedlich sind, wurde für jeden Kollisionsversuch jeweils eine Planung, ein Aufbau, eine Durchführung und eine Auswertung angefertigt.

In Kapitel fünf werden die Erkenntnisse dieser Arbeit zusammengefasst. Anschließend und damit abschließend erfolgt ein kurzer Ausblick.

2. Grundlagen

Im folgenden Kapitel wird die Vorgehensweise, verwendete Sensoren und Begrifflichkeiten sowie Grundlagen der Fahrdynamik dargestellt.

Vorgehensweise

Zunächst wurden die Versuchsarten geplant. Es sollten sowohl Laborversuche unter definierten Bedingungen durchgeführt werden als auch praktische Versuche mit Fahrzeugen. Außerdem sollten vor der Realisierung der oben genannten Versuchsarten Vorversuche durchgeführt werden, um die grundsätzliche Funktionalität der Messsysteme zu überprüfen.

Nachdem die Art der Versuche feststand, wurden die Geräte beschafft und sich in deren Bedienung eingearbeitet. Zwei Geräte wurden von der Unfallanalyse Berlin ausgeliehen. Weiterhin wurde ich in die entsprechende Software eingewiesen bzw. habe mich eigenständig eingelesen.

Weiterhin wurde der Grundaufbau konstruiert und gefertigt. Im Anschluss erfolgten die Vorversuche sowie deren Auswertung. Angesichts der bereits vorgenommenen Terminierung eines Kollisionsversuches wurde dieser den Laborversuchen vorgezogen. Danach wurden die Laborversuche durchgeführt und ausgewertet. Um die Datenmengen aufzubereiten wurde das folgende Schema entwickelt (s. Abbildung 1): Die Rohdaten wurden zunächst nach den Messsystemen unterschieden und dann mit unterschiedlichen Methoden auf ein einheitliches verwertbares Format gebracht. Die Daten wurden dann ausgewertet und mithilfe von dem Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel verglichen.

Nachdem die Laborversuche untersucht worden waren, wurden die Fahrversuche und der andere Kollisionsversuch durchgeführt und ausgewertet.

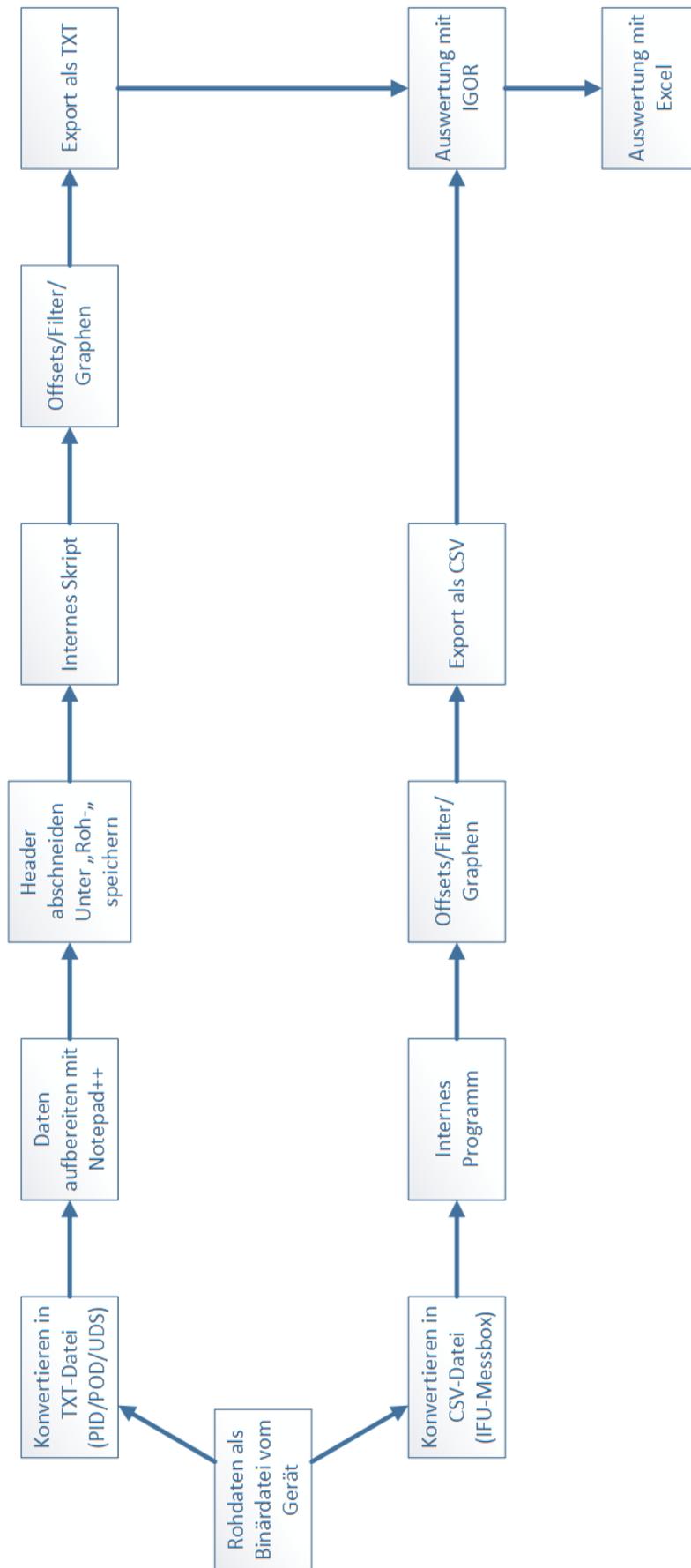


Abbildung 1 Vorgehen bei der Datenauswertung

Identifikation der Versuche

Die einzelnen Versuche wurden nach den folgenden Kürzeln benannt:

Die Laborversuche wurden mit der Buchstabenkombination MAV gekennzeichnet. Danach kam der Winkel des Pendelausschlages¹ und das verwendete Messsystem. Gefolgt von der Drehung des Aufbaus und einer fortlaufenden Nummer. Als letztes wurde eine Abkürzung für die jeweilige Aufbereitung der Daten angefügt. Dabei steht „elim“ für Ausreißer-eliminiert und „100-Hz“ für mit 100 Hz gefilterte Daten. Zudem wurde bei einigen Dateinamen noch der ausgewertete Sensor eingefügt, z.B. 6 G.

Um diese Identifikationsbenennung an einem Beispiel zu zeigen, wurde der nachfolgende Versuch zufällig herausgesucht: MAV_70_270_4_IFU_elim.

Dabei handelt es sich um einen Laborversuch. Der Pendelausschlag lag bei 70°. Die fortlaufende Nummer war die 4 und es handelt sich um Ausreißer-eliminierte Daten der IFU-Messbox.

Die ausgewerteten Dateien erhielten zusätzlich die Kürzel „Det“ für die Detailauswertung, „Norm“ für die gewöhnliche Auswertung und „Stat“ für die statistische Auswertung. Im Laufe der Programmierung kam es dazu, dass die oben verwendete Reihenfolge nicht immer eingehalten wurde. Aufgrund der Einzigartigkeit der Bezeichnungen ergibt sich der betreffende Versuch trotzdem logisch aus der Benennung.

Die Fahrversuche wurden mit dem Kürzel FV und einer fortlaufenden Nummer versehen. Die beiden Kollisionsversuche wurden mit KV abgekürzt und erhielten ebenfalls fortlaufende Nummern.

¹ Die unbekanntenen Begrifflichkeiten ergeben sich im weiteren Verlauf der Arbeit.

Verwendete Programme:

PocketDAQ Analyzer

Zur Auswertung sowie zur Konvertierung der Daten des PocketDAQ und des PicDAQ wurde die Software PocketDAQ Analyzer der Firma DSD verwendet. Diese Auswertesoftware kann die auf verschiedenen Kanälen aufgezeichneten elektrischen Signale in Beschleunigungen und Winkeländerungen umrechnen. Zudem berechnet die Software ausgehend von den oben genannten Daten die Geschwindigkeit, den zurückgelegten Weg sowie den Drehwinkel in die Raumachsen.

UDS-Software

Um Zugriff auf den Unfalldatenschreiber (UDS) zu bekommen wird die UDS-Software benötigt. Ich hatte für die Dauer der Versuche die UDS-Software 7.50 zur Verfügung gestellt bekommen. Diese Software kann die Beschleunigungen, sowie die übrigen erhobenen Daten über der Zeit darstellen. Zudem lassen ausschließlich mit dieser Software die Messdaten exportieren. Weiterhin kann man mit der UDS-Software Einstellungen am UDS vornehmen.

Scilab 6

Weiterhin wurde mit Scilab 6 gearbeitet. Die Software dient vor allem dem Lösen mathematischer Probleme und der graphischen Darstellung der Resultate. Das IFU-Hamburg hat mit dieser Software eigene Programme und Skripte entwickelt, die ich für diese Arbeit verwenden durfte. Diese internen Skripte wurden zum Teil von mir zum Zweck der Automation verändert.

Igor Pro

Die Igor-Software der Firma WaveMetrics ist ein wissenschaftliches Programm zur Datenanalyse.

Excel

Die Ergebnisse der Datenanalyse aus IGOR wurden in Excel aufbereitet und graphisch dargestellt.

Notepad++

Mit dem Texteditor Notepad++ wurden Datensätze zur Weiterverwendung aufbereitet.

Messdatenerfassung

Eine Fahrzeug-Kollision dauert üblicherweise weniger als 1 Sekunde. Um die dort wirkenden Beschleunigungen aufzuzeichnen, müssen die Messsysteme die Werte schnell aufnehmen können. Dazu bedarf es Sensoren, die die physikalischen Eigenschaften erfassen können und einem Datenlogger, der die elektrischen Signale der Sensoren aufzeichnen kann. Im folgenden Absatz ist das Prinzip der Messung erläutert:

Der Sensor detektiert eine physikalische Eigenschaft und gibt einer der Eigenschaft entsprechendes elektrisches Signal aus. Dieses Signal wird vom Datenlogger erfasst und als elektrische Messgröße, z.B. als Spannung, gespeichert. Diese elektrische Messgröße wird dann von einer Software in die gesuchte Messgröße umgerechnet, z.B. die Beschleunigung.

Zu beachten dabei ist, dass Messgrößen bis auf wenige Ausnahmen nur als analoge Signale zur Verfügung stehen. Um die Messinformationen auf dem Computer zu verarbeiten, müsse die Messdaten digital vorliegen. Die analogen Daten werden mit einem sogenannten Analog-Digital-Wandler in digitale Daten gewandelt. Diese Umsetzung bedarf zweier Schritte: Die Umwandlung des wertkontinuierlichen Signals in ein wertdiskretes Signal (Quantisierung) und die Umwandlung des zeitkontinuierlichen Signals in ein zeitdiskretes Signal (Abtastung). Dabei muss das analoge Signal so präzise wie möglich aber auch nur so fein wie notwendig erfasst werden. Daher muss der Datenlogger das vom Sensor erfasste Ereignis auch so aufzeichnen, wie es in der Realität vorgekommen ist. Um ein Maß für die präzise Darstellung eines Ereignisses zu erhalten, wird das Nyquist-Shannon-Abtasttheorem betrachtet. Das Theorem besagt, dass ein Signal exakt abgebildet werden kann, wenn die Abtastfrequenz doppelt so groß ist, wie die Frequenz des Signals [vgl. [1]]. Ansonsten könnte das Signal verfälscht gespeichert werden. Wählt man eine viel höhere Abtastrate, werden keine zusätzlichen Informationen übertragen. Es wird jedoch mehr Speicherplatz benötigt.

Da das Sensorsignal nur in einem bestimmten Bereich annähernd mathematisch korrekt in eine physikalische Größe umgerechnet werden kann, weist jeder Sensor einen Arbeitsbereich auf, in dem diese Umrechnung zulässig ist. Üblicherweise ist dieser Zusammenhang linear. Befindet sich die physikalische Größe außerhalb des Arbeitsbereiches, ist die Linearität nicht mehr gegeben und die Ergebnisse sind verfälscht.

Zu dem Sensorsignal wird auch ein Rauschen übertragen. Rauschen ist eine physikalische Störgröße mit statistisch verteilten Schwankungen [vgl. [2]]. Grundsätzlich möchte man das Rauschen verringern, da es das Signal bzw. Teile des Signals verdecken kann. Ein Filter kann diese Störsignale unterdrücken bzw. abschwächen. Befindet sich jedoch ein Signal im Rauschen, kann dieses ebenfalls unterdrückt werden, sodass es zu einem Informationsverlust kommt. Die in dieser Arbeit gefilterten Daten sind mit der Filter-Methode „Butterworth 4. Ordnung“ bearbeitet worden. [Vgl. [3]]. Zudem wurde beim Einsatz dieses Filters die Zeitachse bei 0 beginnend neu generiert. Der obengenannte Filter hat die Grenzfrequenz 100 Hz. Für die Aufbereitung bzw. Darstellung mit dem PocketDAQ Analyzer wurde der CFC 60- Filter verwendet. Dieser entspricht ebenfalls einer Grenzfrequenz von 100 Hz. CFC steht für *Channel Frequency Classes* und ist in der SAE-Vorschrift J211 definiert. Diese US-amerikanische Vorschrift definiert unter anderem, wie die Signale bei Kollisionsversuchen zu filtern sind [vgl. [3]].

Weitere Störsignale können sogenannte Ausreißer sein. Ausreißer sind Messwerte die nicht in eine erwartete Messreihe passen. Diese Messwerte werden bei den in dieser Arbeit verwendeten Daten eliminiert, „indem alle Werte, die zu stark vom Mittelwert ihrer Nachbarn abweichenden Werte durch den Mittelwert der beiden Nachbarn ersetzt werden. Die Abweichungen in den einzelnen Kanälen werden dazu der Größe nach sortiert. Der 10-größte Wert dient jeweils als Bezugsgröße: Abweichungen, die mehr als 5-fach größer als dieser Wert sind, werden eliminiert.“ [4]

Um die Bewertung der Messdaten zu ermöglichen, wurden folgende Kriterien entwickelt:

1. Erreichte Maximum
2. Erreichte Minimum
3. Definierte Zeitdauer
4. Breite des Rauschens

Die Breite des Rauschens ist die Differenz zwischen den Maxima und den Minima des Rauschens. Um eine Vergleichbarkeit der Rauschbreite und eine benutzerfreundliche Darstellung herzustellen, wurden Histogramme angefertigt, die die Rauschbreite visualisieren. Ein Histogramm ist die graphische Darstellung der Häufigkeitsverteilung stetiger Daten. Diese Daten werden in Klassen eingeteilt und ähnlich einem Balkendiagramm dargestellt [vgl. [5]].

Angewendete statistische Verfahren

„Statistik ist ein Teilgebiet der Mathematik mit der Aufgabe, Daten zu beschreiben, auszuwerten und zu beurteilen. Ihr Ziel ist es letztlich die Vorbereitung von Entscheidungen.“ [s. [6], S. 215]

Die wichtigsten Begriffe für die hier angewandte Statistik sind der Mittelwert und die Standardabweichung. Der Mittelwert (M)- auch arithmetisches Mittel genannt - berechnet sich aus der Summe der einzelnen zu betrachteten Messdaten (x_i), die durch ihre Anzahl (n) dividiert wird [vgl. [5]]:

$$M = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_n}{n}$$

Die Standardabweichung berechnet sich wie folgt:

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

Wobei n wieder die Anzahl der Werte, M der Mittelwert und x_i die Ausgangswerte darstellen. [vgl. [5]].

Für die Erläuterung der in dieser Arbeit angewendete Statistik wird ein Diagramm aus der Auswertung herangezogen (s. Abbildung 2). Auf der Ordinate ist die absolute Anzahl der Messwerte in der jeweiligen Klasse dargestellt. Auf der Abszisse sind die Beschleunigungen aufgetragen. Die Häufigkeit der Messwerte in den Klassen sind als Balken dargestellt. Die Messwerte werden mit einem Gauß-Algorithmus in IGOR ausgewertet.

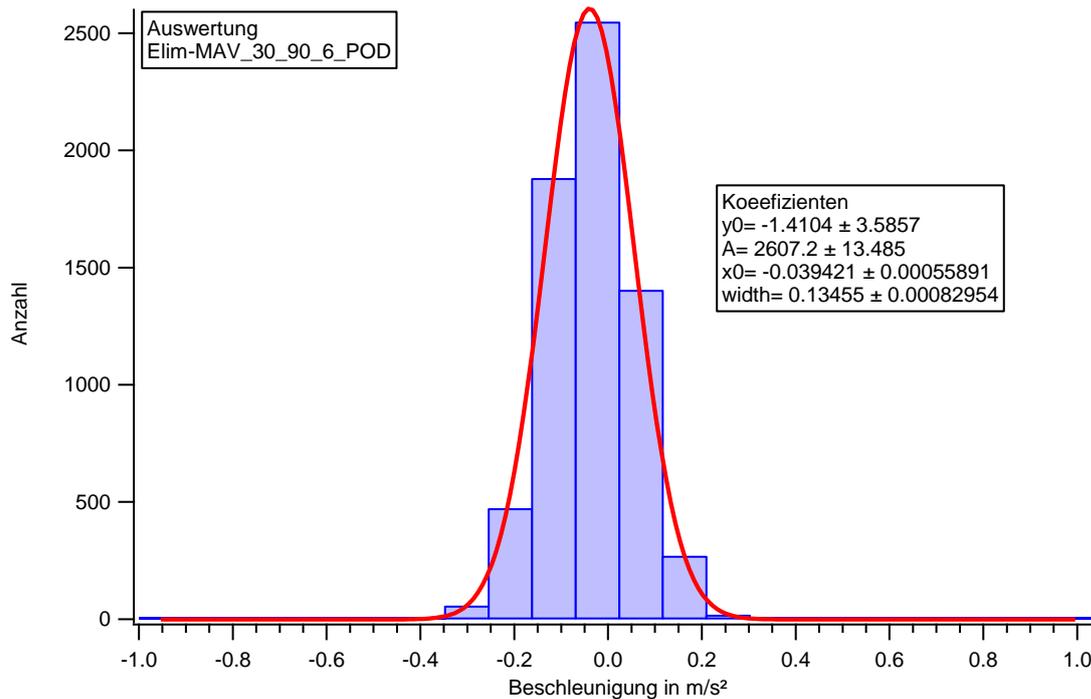


Abbildung 2 Beispiel zur Normalverteilung

Die mathematische Formel dieser Gauß-Kurve lautet [vgl. [7]]:

$$f(x) = y_0 + A \exp \left\{ - \left(\frac{x - x_0}{width} \right)^2 \right\}$$

Bei der Betrachtung des Rauschens wird der width-Wert der verschiedenen Sensoren und Messsysteme herangezogen und untereinander verglichen. Der width Wert entspricht der zweifachen Standardabweichung (width=2 σ) und gibt die Breite der Kurve an.

Fahrdynamik

Alle Bewegungen des Fahrzeuges werden unter dem Begriff Fahrdynamik zusammengefasst. Die Bewegungen umfassen die Beschleunigungen, Geschwindigkeiten, Wege, Kräfte und Momente in den drei senkrecht zueinander liegenden Koordinatenachsen X, Y und Z. Die Achsen und die Definitionen sind in der DIN 70000 festgelegt (s. Abbildung 3).

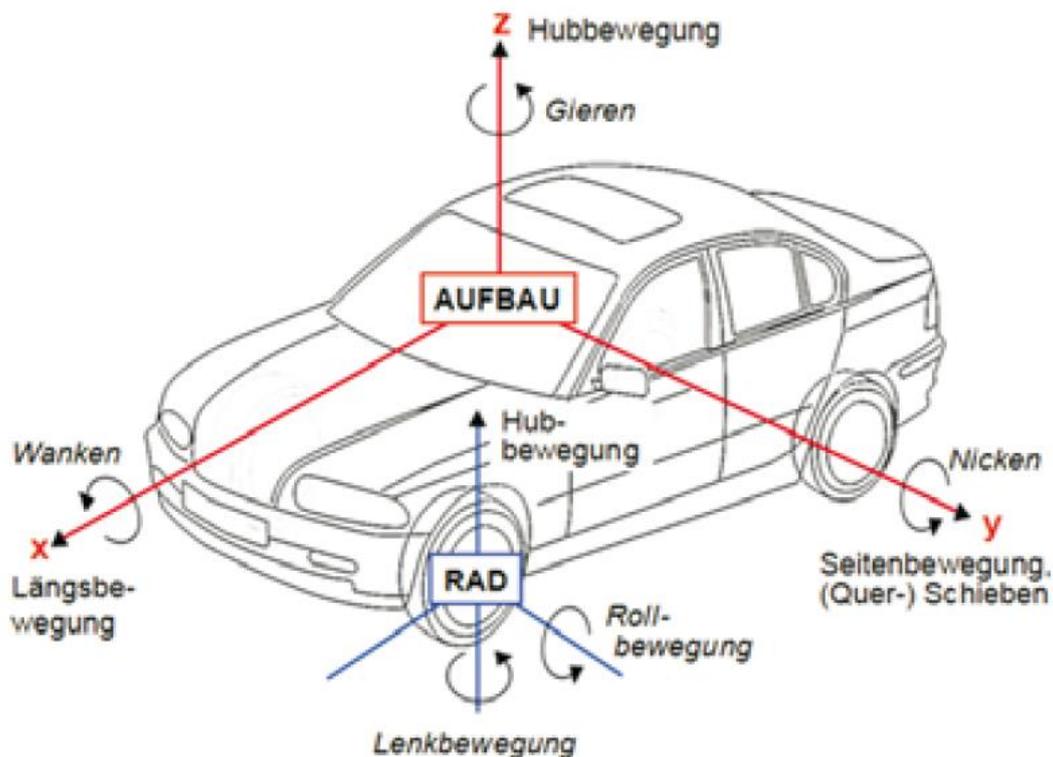


Abbildung 3 Koordinatensystem nach DIN 70000 [S. 21 [8]]

Es existieren mehrere Versuchsarten, um die Fahrdynamik von Fahrzeugen zu untersuchen: Z.B. wird bei der stationären Kreisfahrt angestrebt, das Fahrzeug bei konstanter Geschwindigkeit und konstantem Lenkwinkel auf einem definierten Kurvenradius zu bewegen. Dabei stellt sich der zu untersuchende Wankwinkel ein, also der Winkel zwischen fahrzeugfester und fahrbahnfester X-Y-Ebene.

Auf der folgenden Seite werden die einzelnen Komponenten der Fahrdynamik näher erläutert.

Längsdynamik

Die Längsdynamik beschreibt die Bewegungen des Fahrzeuges in der Fahrzeuglängsachse, also nach vorne und hinten. Die Fahrzeuglängsachse wird als X-Achse bezeichnet. Im Besonderen wird in dieser Arbeit die Beschleunigung betrachtet. Die Beschleunigung ist die Geschwindigkeitsänderung pro Zeit. Die Längsgeschwindigkeit ist die zurückgelegte Strecke pro Zeit. Zu der Längsdynamik gehört auch der Nickwinkel. Der Nickwinkel ist der Winkel, um den das Fahrzeug beim Beschleunigen oder Bremsen aus- bzw. einfedert. Die Drehung um die Y-Achse entspricht dem Nickwinkel [vgl. [8]].

Querdynamik

Die Querdynamik beschreibt die Bewegungen des Fahrzeuges in der Fahrzeugquerachse, also nach links und rechts. Die Fahrzeugquerachse wird als Y-Achse bezeichnet. Wenn sich das Fahrzeug also in Kurvenfahrt befindet, neigt es sich um die X-Achse. Der sich dabei einstellende Winkel wird als Wankwinkel bezeichnet. Die Drehung um die Z-Achse bei Kurvenfahrt wird dabei als Gierwinkel bezeichnet [vgl. [8]].

Vertikaldynamik

Die Vertikaldynamik beschreibt die Bewegungen des Fahrzeuges in der Fahrzeughochachse, also nach oben und unten. Diese Bewegungen sind vor allem bei der Untersuchung von Feder-Dämpfer-Systemen von Bedeutung. Außerdem ist diese Richtung besonders wichtig für die Fahrkomfortuntersuchung für Fahrzeuginsassen [vgl. [8]].

Verwendete Sensoren

Ein Sensor ist ein technisches Bauteil, das physikalische Eigenschaften erfasst und als elektrisches Signal weitergibt. Die für diese Arbeit relevanten physikalischen Eigenschaften sind die Beschleunigung und die Drehrate.

Die Beschleunigung wird mit einem Beschleunigungssensor erfasst. Ein Beschleunigungssensor kann auf drei verschiedene Arten die Beschleunigung messen: kapazitiv, induktiv und mit Piezoelementen. Bei den kapazitiven Sensoren wird eine Masse zwischen zwei Kondensatorplatten platziert. Durch die wirkende Beschleunigung wird der Abstand zwischen der Masse und den Kondensatorplatten verringert. Die Veränderung der Kapazität kann dann als Signal abgegriffen und umgerechnet werden. Die induktiven Sensoren sind mit einem Hall-Sensor und einem Magneten ausgestattet. Ähnlich wie beim kapazitiven Sensor bewirkt die Beschleunigung eine Änderung des Abstandes zwischen dem Magneten und dem Hall-Sensor. Die so induzierte Spannung kann anschließend in Beschleunigungswerte umgerechnet werden. Die piezoelektrischen Beschleunigungssensoren basieren auf einem Piezoelement, das durch mechanische Belastung eine elektrische Ladung abgibt. Die wirkende Beschleunigung kann dann entsprechend der Ladungsänderung ermittelt werden. [vgl. [9]]

Die Drehrate wird mit einem Gyrosensor erfasst. Durch Integration der Drehrate erhält man den Drehwinkel. Für die Messung einer Drehrate existierten zwei Messprinzipen: mit Hilfe der Corioliskraft und mit Hilfe des Sagnac-Effektes. Da für die vorliegende Arbeit nur Drehratensensoren benutzt werden, die dem Messprinzip der Corioliskraft folgen, wird auch nur dieses Funktionsprinzip erläutert. [vgl. [10]]

Es werden zwei Piezoelemente mithilfe einer elektrischen Spannung in Schwingung versetzt. Bei einer Änderung der Richtung wirkt die Corioliskraft auf die Piezoelemente. Diese erzeugen durch die Krafteinwirkung eine Ladung und damit eine Spannung. Diese Spannung wird dann wie bei den Beschleunigungssensoren umgerechnet, sodass man die Drehrate erhält. [vgl. [11]]

Weiterhin wurde das Peiselerrad eingesetzt. Dabei handelt es sich um einen Sensor der in diesem Fall direkt an einem nicht angetriebenen Rad angebracht wird. Das Peiselerrad ist üblicherweise als zusätzliches geschlepptes Rad bekannt. Der Sensor des IFU besteht im Grunde aus zwei Teilen: der mit dem Rad des Fahrzeuges mitlaufenden Signal-Geber-

Scheibe und dem auf der Scheibe drehbargelagerten Signalaufnehmer. Durch die Befestigung einer Feder und des Sensorkabels an der Karosserie dreht der Signalaufnehmer nicht mit dem Rad mit. Der Peiseler-Sensor verfügt auf der Geber-Scheibe über mehrere Signal-Geber. Dieses Prinzip ähnelt der Funktionsweise eines Fahrradtachometers. Dort fährt bei jeder Umdrehung des Rades ein Signalgeber, der Magnet, an dem Signalaufnehmer an der Vorderradgabel vorbei. Durch die Messung der Umdrehungen in einer bestimmten Zeit sowie durch die Kenntnis des Radumfangs lässt sich die Geschwindigkeit berechnen und auf dem Tachometer darstellen.

Außerdem wurden bei den Fahrversuchen Ultraschallsensoren an der Front und an dem Heck des Fahrzeuges angebracht. Die Ultraschallsensoren senden und empfangen Ultraschall. Der ausgesendete Ultraschall wird am Boden reflektiert. Aus der gemessenen Zeit, von der Aussendung bis zum Empfang der reflektierten Schallwelle, wird unter Beachtung der Schallgeschwindigkeit in Luft die Strecke zwischen dem Ultraschallsensor und dem Boden berechnet. Das Prinzip ist gleich dem Echolot eines Schiffes. Bei dem wird ein Schallimpuls zum Meeresboden gesandt, der dort reflektiert und zum Schiff zurückgeschickt wird. Anhand der Zeitmessung zwischen Signal-Sendung und Empfang wird die Entfernung des Schiffes zum Meeresboden berechnet.

3. Geräte

Im folgenden Kapitel werden die verwendeten Messsysteme vorgestellt.

PicDAQ 5

Bei dem PicDAQ 5 (PID) handelt es sich um ein Messgerät der Firma DSD, Dr. Steffan Datentechnik Ges.m.b.H (Österreich). Die folgenden Informationen stammen hauptsächlich aus den Bedienungshandbuch sowie der Website zum PicDAQ [s. [12] und [13]].



Abbildung 4 Übersicht PicDAQ 5

Aufbau

Das Messsystem befindet sich in einem schwarzen Gehäuse mit den Abmessungen: 135 x 130 x 40 mm. Das Gewicht ist mit 470 g angegeben. Auf der Oberseite befindet sich ein schmales LCD-Display, sowie vier Schnittstellen für externe Komponenten, wie z.B. Sensoren oder einen GPS-Empfänger. Zudem sind zwei rote runde Knöpfe mit den Bezeichnungen „Menu“ und „Start“ sowie ein Kippschalter zum Ein- und Ausschalten auf der Oberseite angebracht. Auf der Rückseite wurde eine Montagehilfe befestigt, um

den PID von oben montieren zu können. Außerdem befindet sich das Batteriefach auf der Vorderseite, in das eine 9 V-Blockbatterie oder ein entsprechender Akkumulator gelegt wird. Auch wird der optionale GPS-Empfänger durch diese Stromquelle versorgt. Auf der Stirnseite befindet sich ein Einschubfach für eine SD-Karte. Daher ist für den Betrieb des Messsystems keine zusätzliche externe Stromquelle nötig.

Es sind im PID zwei 3-axiale Beschleunigungssensoren ($\pm 1.5g$ und $\pm 200 g$) und ein 3-axialer Winkelgeschwindigkeitssensor ($\pm 300 \text{ Grad/s}$) verbaut. Der interne Datenlogger des PID verfügt über 15 analoge Eingangskanäle und vier digitale Eingänge. Die Messdaten werden auf der SD-Karte gespeichert. Diese muss zur Auswertung der Daten an einem PC entfernt werden. Eine weitere Datenschnittstelle existiert nicht.

Der PID kann sowohl mit fester als auch mit variabler Aufnahmezeit die Messdaten protokollieren. Die Angabe der wählbaren Dauer unterscheidet sich in beiden Quellen. In dem Bedienungshandbuch wird die Dauer von 1 s- 600 s angegeben. Der Website ist zu entnehmen, dass die Aufzeichnungszeit bei der max. Abtastrate (1 kHz pro Kanal) mindestens 300 s beträgt. Bei „geringeren Abtastraten erhöht sich die Aufzeichnungszeit entsprechend und ist nur von der Kapazität der SD-Karte begrenzt“ [s. [12]].

Die maximale einstellbare Abtastrate liegt bei Verwendung von 15 Kanälen bei 2 kHz pro Kanal. Diese Abtastrate wurde auch bei sämtlichen Versuchen in dieser Arbeit eingestellt. Wenn die Anzahl der Kanäle reduziert wird, sind Abtastraten bis zu 20 kHz möglich. Die auf der Website angegebenen maximalen Abtastraten konnten bei der Bedienung nicht nachvollzogen werden.

Bedienung

Die Messplattform wird über vier Bohrungen fest mit dem Fahrzeug verbunden. Dabei ist darauf zu achten, dass die Plattform gerade ausgerichtet wird. Die Achsen-Bezeichnung auf dem Gerät sollte dabei möglichst in die Fahrzeugrichtungen zeigen und der Montageort vermessen und fotografisch festgehalten werden.

Nach der Ausrichtung wird das Gerät eingeschaltet. Danach können entweder im Menü die gewünschten Parameter eingestellt werden oder direkt die Aufnahme durch Betätigung des „Start“-Knopfes begonnen werden. Durch den gleichen Knopf wird die Aufnahme beendet. Die Bedienung des Menüs erfolgt über die beiden roten Knöpfe.

PocketDAQ

Von der Firma DSD, Dr. Steffan Datentechnik Ges.m.b.H (Österreich), stammt ebenfalls der PocketDAQ (POD), eine weitere Messplattform. Die folgenden Informationen habe ich hauptsächlich aus dem Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion [14] und aus der Studienarbeit „Vergleich und Bewertung der Aufzeichnungen von Crashrecordern“ [15] entnommen.



Abbildung 5 Übersicht PocketDAQ

Aufbau

Die Messplattform besteht aus drei Baugruppen, die auf einer Grundplatte montiert sind. Dieser Aufbau ermöglicht einen leichten Austausch der Komponenten. Zentrales Element ist der Handheld-PC vom Typ iPAQ h5550 von Hewlett-Packard. Die Bedienung erfolgt über den Touchscreen. Als Betriebssystem wird Microsoft Windows CE eingesetzt. An dem Handheld-PC wird ein Expansion-Pack angeschlossen, welches über einen zweiten Akkumulator sowie einen PCMCIA-Steckplatz verfügt. Mittels einer PCMCIA-Erweiterungskarte werden die Sensoren mit dem Handheld-PC verbunden. Diese Erweiterungskarte wandelt die analogen Signale der Sensoren in für den Handheld verständliche digitale Signale um. Es können maximal 16 Kanäle aufgezeichnet werden.

Desweiteren ist der iPAQ mit einer externen Speicherkarte ausgerüstet, auf der sich das Programm „PocketDAQ“ befindet. Mithilfe dieses Programms werden die Messsignale empfangen und auf der Speicherkarte abgespeichert.

Die beiden Gehäuse neben dem Handheld-PC beinhalten voneinander getrennt arbeitende Beschleunigungssensoren. Die Sensoren sind so ausgerichtet, dass die Beschleunigungen in die drei Raumrichtungen sowie die Winkelgeschwindigkeit um die drei Raumachsen ermittelt werden kann. Der Messbereich für die linearen Beschleunigungssensoren liegt bei $\pm 5 \text{ G}$ und $\pm 50 \text{ G}^2$. Die 5 G -Sensoren werden überwiegend für Fahrversuche und die 50 G -Sensoren für Kollisionsversuche genutzt. Die Winkelgeschwindigkeit kann bei dem originalen Modell in einem Messbereich von $\pm 300^\circ/\text{s}$ aufgezeichnet werden. Das IFU-Hamburg hat den vorliegenden POD mit einem Gyro-Sensor ausgerüstet, der mit $75^\circ/\text{s}$ die Winkelgeschwindigkeit misst.

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit externe Sensoren anzuschließen und deren Signale aufzuzeichnen, z.B. Beschleunigungssensoren am Kopf oder an der Brust eines Probanden.

Bedienung

Die Messplattform kann über vier Bohrungen fest mit dem Fahrzeug verbunden werden. Dabei ist darauf zu achten, dass die Plattform gerade ausgerichtet wird. Die Achsen-Bezeichnung auf dem Gerät sollte dabei möglichst in die Fahrzeurichtungen zeigen und der Montageort vermessen und fotografisch festgehalten werden.

Nach der Ausrichtung kann der Handheld-PC gestartet und das Programm „PocketDAQ“ aufgerufen werden. Unter dem Reiter „Extra“ wird der Punkt „Start Measurement...“ ausgewählt. In dem angezeigten Menü muss der Nutzer nun auswählen wie viele Kanäle aufgezeichnet werden sollen. Wenn keine externen Sensoren angebracht werden, reichen 9 Kanäle aus, ansonsten sollten 15 Kanäle aufgezeichnet werden. Außerdem kann die gesamte Abtastrate eingestellt werden. Bei den Versuchen für diese Arbeit wurde die Gesamtabtastrate auf 50 kHz eingestellt. Die Abtastrate pro Kanal ergibt sich dann aus der Division der Gesamtabtastrate durch die Anzahl der aufzuzeichnenden Kanäle. Als letztes muss der Benutzer die Zeitdauer einstellen, die das Gerät aufzeichnet. Hierbei sollte darauf geachtet werden, dass das aufzuzeichnende Ereignis in naher Zukunft liegt, damit

² G ist die Erdbeschleunigung und entspricht rd. $9,81 \text{ m/s}^2$

sichergestellt werden kann, dass die Aufzeichnung gelungen ist. Die Messung wird nach der eingestellten Zeit selbstständig beendet. Als letzten Schritt muss der Button „Start“ gedrückt werden. Nach der Aufzeichnung muss die Messung noch mit „ok“ bestätigt werden.

Um die Stromversorgung für die Versuchszeit zu gewährleisten, wurde eine zusätzliche externe Stromversorgung an dem iPAQ angebracht. Dabei handelt es sich um ein gewöhnliches USB-Power-Bank.

Unfalldatenspeicher UDS

Bei dem Unfalldatenspeicher (UDS) handelt es sich um autarkes System (s. Abbildung 6), das aktuell von der Firma Kienzle Automotive GmbH (VDO/Continental Trading GmbH) vertrieben wird. Es erfasst und speichert bei einer realen Kollision die Bewegungsdaten für einen kurzen Zeitraum. Der UDS ist eigentlich keine Messplattform für Versuche, sondern ein Aufzeichnungsgerät realer Unfälle. Im Folgenden wird nur der UDS 2.0 beschrieben und für die Versuche verwendet. Die älteren Generationen sowie das aktuelle Modell, der UDS AT, standen nicht zur Verfügung. Die folgenden Informationen stammen aus dem Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion [14], dem Buch Unfallrekonstruktion [16], der Website Colliseum [17], der UDS Bedienungsanleitung [18], dem Vergleich des UDS 2.0 zum UDS AT [19] und aus der Studienarbeit „Vergleich und Bewertung der Aufzeichnungen von Crashrecordern“ [15].



Abbildung 6 Übersicht UDS

Aufbau

Das Gerät selbst ist eine Blackbox. Die Maße mit 100 mm x 100 mm in der Grundfläche und rd. 30 mm hoch sind im Vergleich zu den anderen Messsystemen gering. Der UDS

wird üblicherweise mittels eines 26-poligen Steckers an die Bordelektronik des Autos angeschlossen und mit Strom versorgt.

Für die Versuche wurde eine von Herrn Senatli entwickelte Platine verwendet, sodass der UDS nicht mit der Bordelektronik verbunden werden musste (Abbildung 7). Der linke Hauptschalter (s. roter Pfeil) sorgt für die grundsätzliche Spannungsversorgung des UDS und der rechte Schalter (s. blauer Pfeil) stellt den UDS auf den Fahrmodus ein. Zudem befindet sich auf der Platine ein Stecker, der mittels eines Kabels mit dem UDS verbunden wird. Für die Versuche wurde die Platine staubgeschützt in eine Kunststoffhülle verpackt.

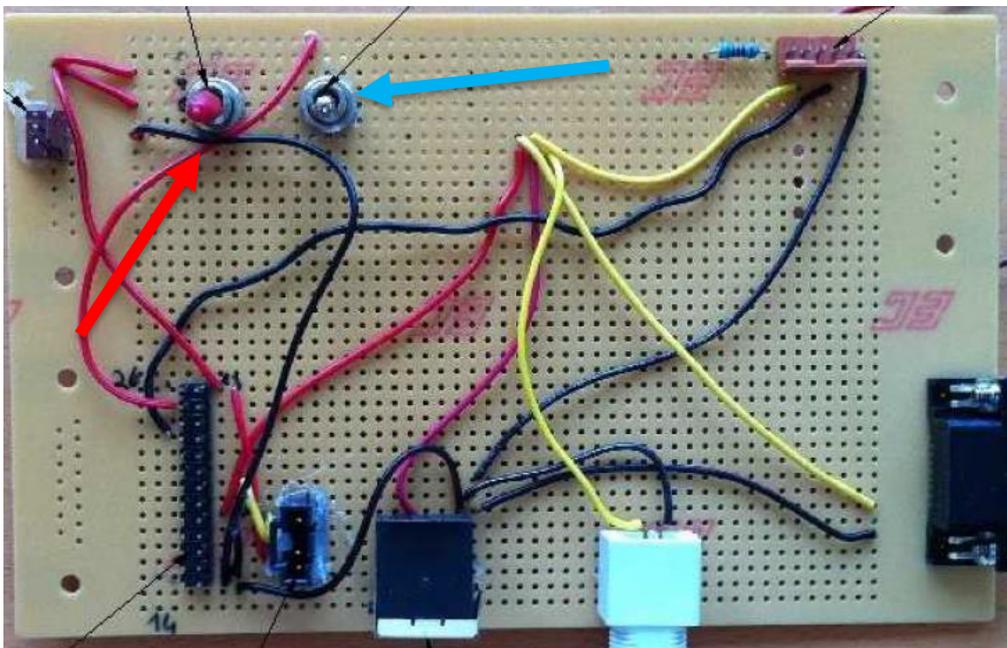


Abbildung 7 Platine zur UDS-Steuerung [s. S.23 [15]]

Der UDS verfügt über zwei ± 50 G Beschleunigungssensoren sowie einen Magnetfeldsensor als elektrischer Kompass. Die Abtastrate beträgt vor der Kollision 16 Hz. Während der Kollision wird das Ereignis mit 256 Hz aufgezeichnet.

Bedienung

Der UDS wird üblicherweise fest mit dem Fahrzeug verbunden. Über die Anbindung an das Bordnetz wird der UDS automatisch mit dem Start des Fahrzeuges in den Fahrmodus gebracht. Die Aufzeichnung erfolgt dann automatisch, sobald die wirkenden Kräfte eine Auslöseschwelle überschritten haben. Die Aufzeichnungsdauer liegt bei rd. 43 s, wobei rd. 28 s vor und rd. 15 s nach dem Ereignis aufgezeichnet werden.

Für diese Arbeit wurde der UDS nicht mit dem Bordnetz verbunden, sondern über die oben gezeigte Platine gesteuert. Daher ist die Bedienung in dieser Arbeit anders als üblicherweise. Nach der Montage und Ausrichtung wird zunächst der linke Hauptschalter betätigt. Der UDS wird jetzt mit Strom und Spannung versorgt und befindet sich im sogenannten Parkmodus. Im Parkmodus kann der UDS nach dem Überschreiten einer Auslöseschwele ebenfalls ausgelöst werden. Dies war für die Versuche nicht gewünscht. Nachdem der Hauptschalter betätigt ist, wird der zweite rechte Schalter ausgelöst. Der UDS befindet sich im Fahrmodus. Dieser Modus war für die Versuche gewünscht.

DL1 Data Logger

Für die Fahrversuche und Kollisionsversuche wurde zusätzlich die DL1 Data Logger Messplattform von der Firma Race Technology Ltd eingesetzt (Abbildung 8) verwendet. Dieses Gerät dient ursprünglich der Analyse von Daten aus dem Rennsport. Die folgenden Informationen beruhen auf der Studienarbeit [15] und der Website [20].



Abbildung 8 DL1 Frontansicht

Aufbau

Die DL1 weist an der Front einen roten Start-Stopp-Knopf, vier LED-Anzeigen für den Status sowie ein Einschubfach für eine SD-Karte auf. An der Rückseite liegen die Anschlüsse für Ein- und Ausgänge. Die DL1 verfügt über 2 G-Beschleunigungssensoren in zwei Achsen. Die Abtastrate beträgt 100 Hz.

Der Export der aufgenommenen Daten der DL1 erfolgt über die SD-Karte. Diese wird entnommen und mit einem PC verbunden. Über die Software „Analysis“ können die Daten betrachtet und ausgewertet werden. Dabei ist zu beachten, dass die Software die Beschleunigungsdaten mit den GPS-Daten verrechnet. Auf welche Art dies geschieht und ob Filter eingesetzt werden ist nicht bekannt; es kann in der Software lediglich ausgewählt werden, welchen Daten mehr „vertraut“ wird. Ein Export und eine Analyse der Rohdaten ist somit nicht möglich.

Der am IFU-Hamburg verwendeten Plattform wurde ein Gerät vorgeschaltet, an dem externe Sensoren und die Stromversorgung angeschlossen wird. Dieses Gerät wurde über der DL1 montiert (s. Abbildung 9). Daran befindet sich auch ein Kippschalter, der die Stromversorgung steuert, da die DL1 selbst über keinen An/Aus-Schalter verfügt. Die Sensoren werden mit Cinch-Steckern angeschlossen.

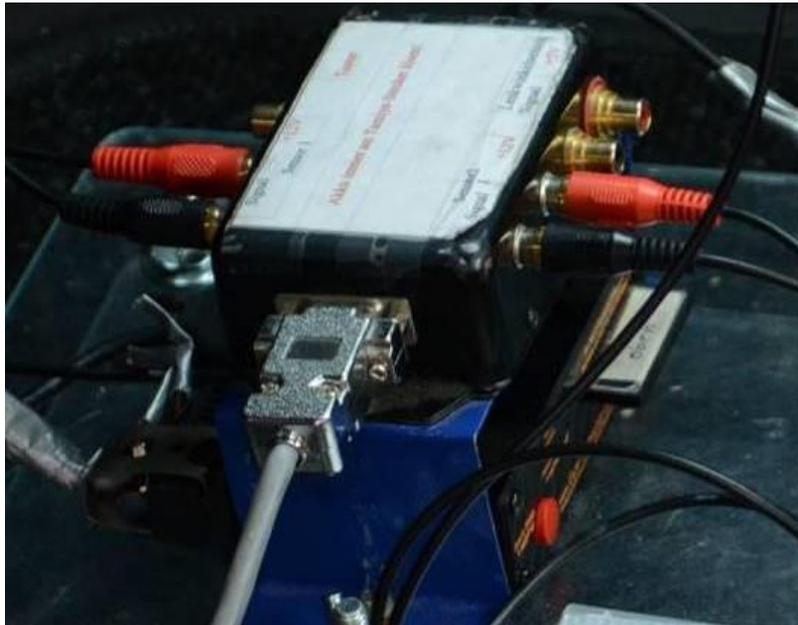


Abbildung 9 DL1 Aufbau am IFU-Hamburg

Bedienung

Nach der Montage des Gerätes und dem Anschluss der verwendeten Sensoren wird die Stromversorgung angeschaltet. Anschließend wird die Aufnahme mit dem roten Startknopf begonnen. Nach der Durchführung des Versuches wird die Aufnahme mit dem roten Startknopf wieder beendet.

IFU-Messbox

Die IFU-Messbox wurde vom IFU-Hamburg - Institut für Unfallanalysen Diplom-Physiker Ingenieure Weber PartG entwickelt und gebaut.



Abbildung 10 IFU-Messbox [21]

Aufbau

Das Gerät ist in einem grauen Gussgehäuse verbaut. Auf der Oberseite befindet sich das Bedienpanel mit dem An-/Aus-Knopf, dem Start/Stop-Knopf und der Sync-Taste. Zudem sind hier eine USB-Buchse, eine Sync-Buchse, der Anschluss für die Fernbedienung und die Ansteuerung der Eventleuchte. An der Stirnseite befinden sich die Anschlüsse für die externen Sensoren. Die IFU-Messbox ist mit drei 1,7 G-Sensoren, drei 6 G-Sensoren, drei 50 G-Sensoren und Gyrosensoren, die mit 150°/s die Winkelgeschwindigkeit messen, in allen drei Raumrichtungen ausgestattet. Zu dem Gerät standen zwei externe 16 G Beschleunigungssensoren zur Verfügung, die die Beschleunigung in den drei Raumachsen aufnehmen können.

Bedienung

Die Messplattform kann über eine Montageplatte fest mit dem Fahrzeug verbunden werden. Dabei muss die Plattform gerade ausgerichtet werden. Der Montageort sollte vermessen und fotografisch festgehalten werden.

Nach der Montage wird die IFU-Messbox mittels des An-/Aus-Taste angeschaltet. Auf dem Bedienpanel leuchten die LEDs der Sensoren, die anzeigen, welche Sensoren gerade aktiv sind und bei einer Messung aufzeichnen würden. Nach der Kontrolle der LEDs kann die Aufzeichnung mit der Start-/Stopp-Taste gestartet werden. Eine feste Aufnahmezeit kann nicht vorgegeben werden. Nach dem Versuch wird mit derselben Taste die Aufzeichnung beendet und die IFU-Messbox mit der An-/Aus-Taste ausgeschaltet. Die Eventleuchte und die Fernbedienung standen zum Zeitpunkt der Versuche nicht zur Verfügung. Das Sync-Signal, das durch die Sync-Taste ausgelöst wird, wurde nicht genutzt, da keine zweite IFU-Messbox, mit der man den Start der Aufzeichnung hätte synchronisieren können, zur Verfügung stand.

Das Auslesen der Daten erfolgt über die USB-Buchse auf der Oberseite. Diese wird mittels eines USB-Kabels direkt mit einem Computer verbunden. Von diesem greift man mit einer Software auf den internen Datenlogger zu und wandelt beim Export die Binärdatei auf dem Datenlogger automatisch in eine CSV-Datei um.

4. Versuche

Nachfolgend werden die durchgeführten Versuche sowie deren Ergebnisse präsentiert.

Grundaufbau

Es sollten die vier vorgestellten Geräte möglichst gleich beschleunigt werden. Dazu wurde ein Geräteträger entwickelt. Die vier Geräte wurden zunächst auf einer Holzplatte möglichst platzsparend montiert. Die Ausrichtung (der lokalen Koordinatensysteme) der Geräte zu (dem Koordinatensystem) der Grundplatte erfolgte daher nicht in die gleiche Richtung. Der PID und der POD waren in die gleiche Richtung orientiert. Die IFU-Mess-box war um 180° entgegen PID und POD und der UDS um 90° verdreht.

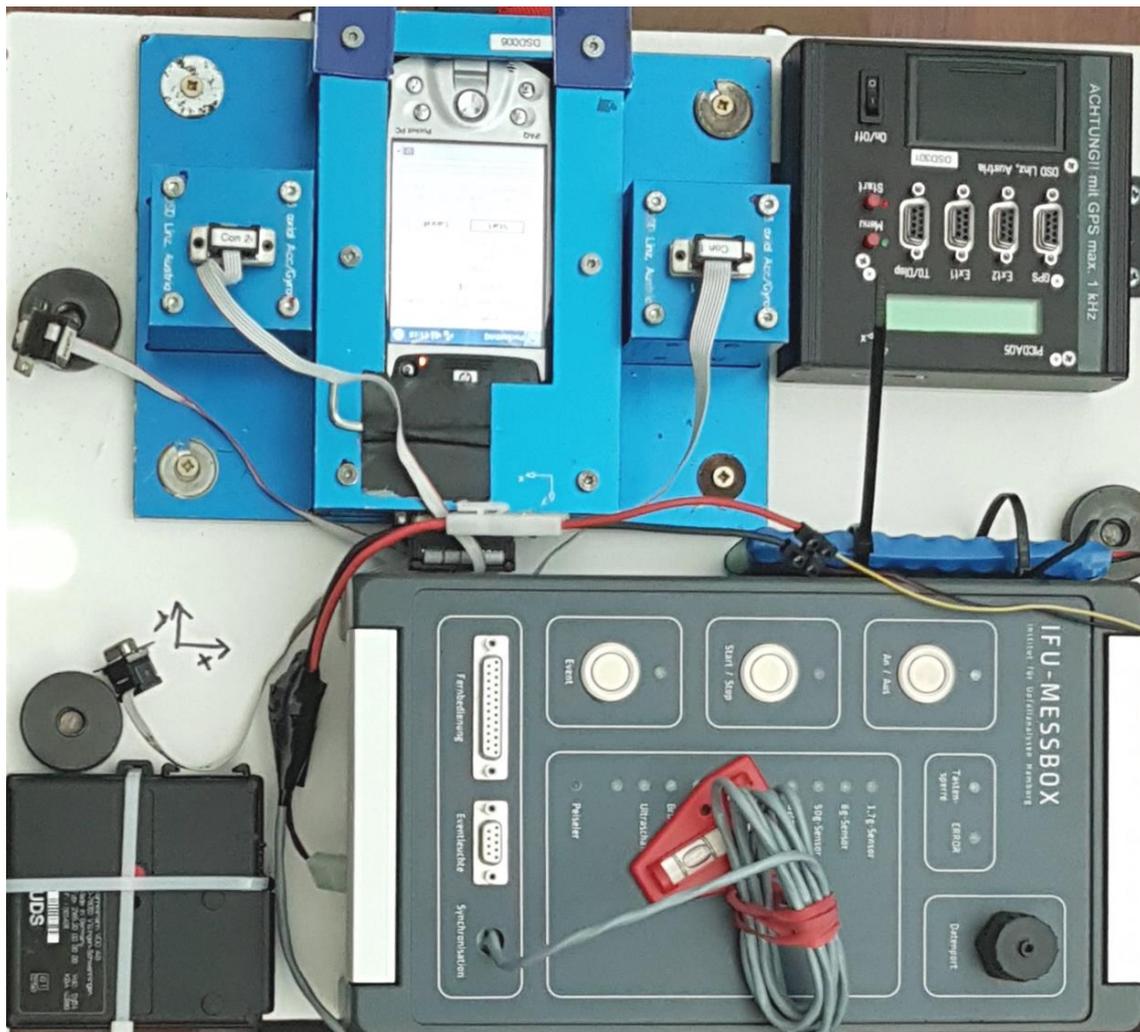


Abbildung 11 Übersicht Grundplatte

Die Grundplatte wurde auf ein vorhandenes Gestell geschraubt. Das Gestell bestand aus drei Gewindestangen, die auf einer Trägerplatte befestigt waren. Die Trägerplatte wurde dann mit dem beschleunigten Körper verbunden. Mittels der drei Gewindestangen und einer Wasserwaage ließ sich die die Grundplatte eben ausrichten.

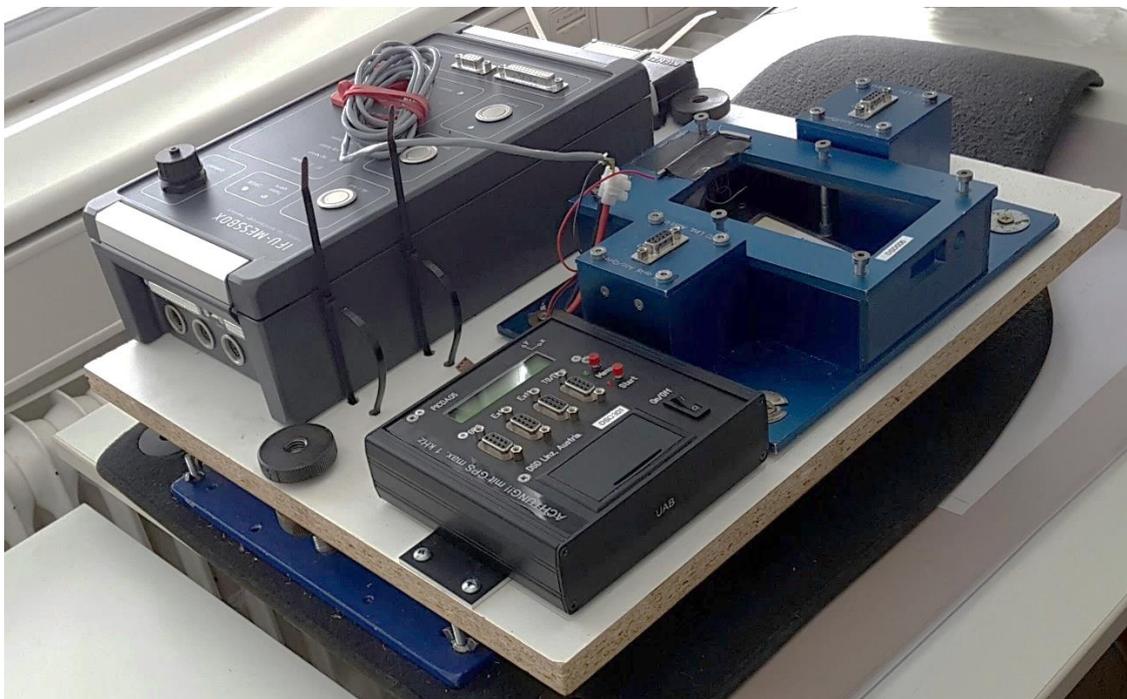


Abbildung 12 Übersicht Geräteträger

Vorversuche

Planung

Die Vorversuche (VV) dienen einer ersten Überprüfung der Sensoren. Dazu sollen die Verläufe der Messergebnisse des PID, des POD und der IFU-Messbox bei definierten Drehungen um 90° , 180° , 270° und 360° um die X-, Y- und Z-Achse sowie bei zwei Stoßversuchen grob verglichen werden. Die Stoßversuche sollten auf möglichst ebenem Untergrund gegen einen harten Gegenstand erfolgen. Der UDS kann für die Drehversuche nicht verwendet werden, da er weder über einen Gyrosensor noch über einen Beschleunigungssensor in der Z-Achse verfügt. Zudem wird durch die Drehbewegung die Auslöseschwelle des UDS nicht überschritten und der UDS zeichnet die Versuche nicht auf. Bei den Stoßversuchen wird der UDS eingesetzt.

Aufbau

Für die Vorversuche wurde der Geräteträger auf ein Rollenbrett geschnallt. Für die Versuche wurden die Drehwinkel mithilfe eines Winkelmessers für den Hausbau festgelegt. Die Grundplatte wurde nach der Montage eben ausgerichtet. Für einen der zwei Stoßversuche wurde der Geräteträger auf dem Rollenbrett um 90° gedreht montiert, damit immer der Rollwagen und keines der Messgeräte gegen die Wand prallt. (s. Abbildung 13).

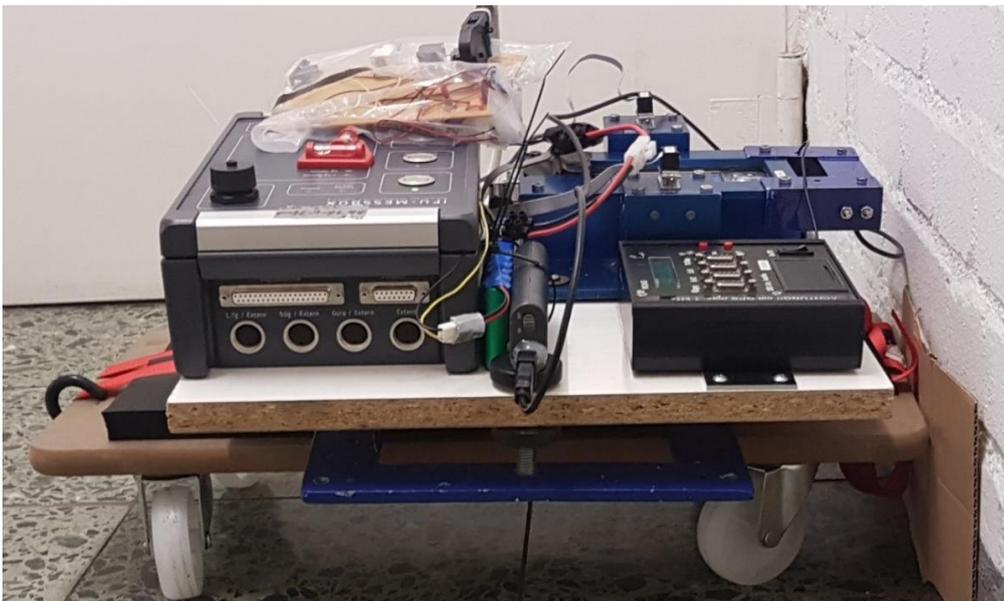


Abbildung 13 Geräte auf dem Rollbrett

Durchführung

Die Vorversuche wurden am 13.09.2016 in den Räumen des IFU Hamburg durchgeführt. Für die Drehung um die Z-Achse wurde der Geräteträger mit dem Rollwagen auf den Holz-Fußboden gestellt. Die Geräte wurden anschließend waagrecht mit einer Wasserwaage (WW) ausgerichtet. Die Drehung erfolgte manuell per Hand. Zur Übersicht wurde ein globales Koordinatensystem und ein lokales Koordinatensystem eingeführt (s. Abbildung 14). Für die Drehversuche um die X- und Y-Achse wurde nur der Geräteträger verwendet und manuell gedreht. Während der Versuche wurde das folgende Protokoll aufgenommen (s. Tabelle 1). Dabei wurden die lokalen Koordinatenachsen dem globalen System zugeordnet. An dieser Stelle ist zu beachten, dass die Drehung der Versuche 6-9 nach rechts, also im Uhrzeigersinn und die restlichen Drehversuche nach links, also gegen den Uhrzeigersinn, erfolgte. Aufgrund des Aufbaus und der Drehung per Hand war es nicht möglich eine einheitliche Drehrichtung beizubehalten. Die Drehung erfolgte um den Mittelpunkt des Geräteträgers.

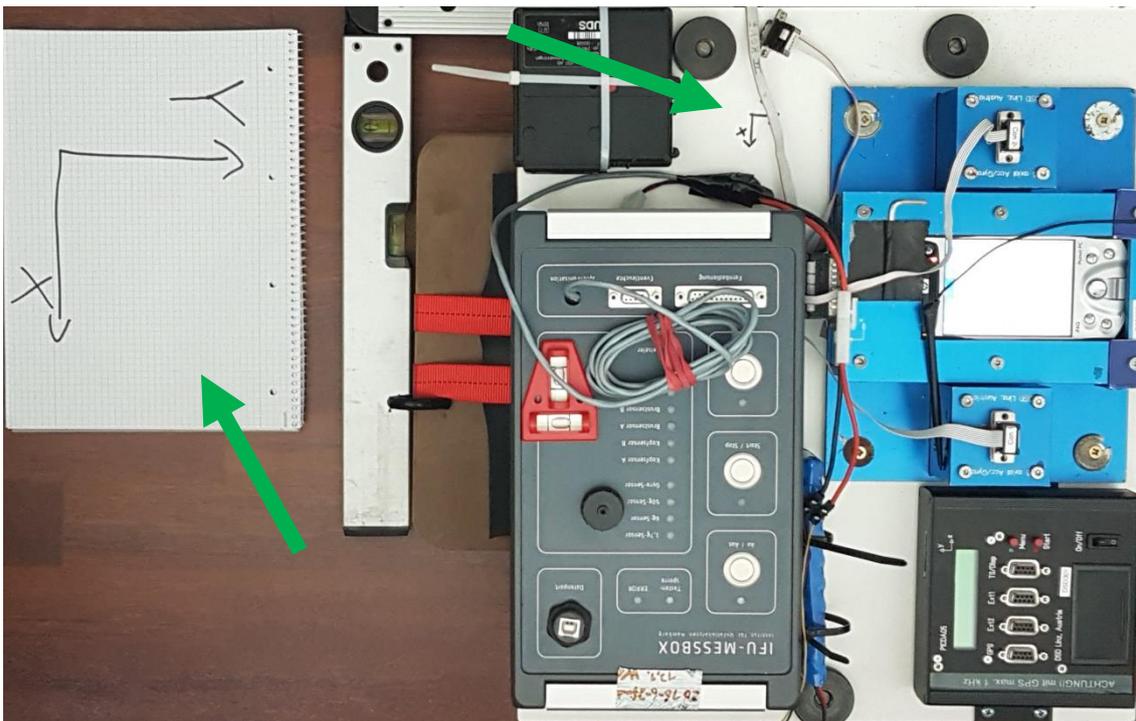


Abbildung 14 Globales und lokales Koordinatensystem

Für die Stoß-Vorversuche wurde der Geräteträger mit dem Rollbrett auf gefliesten Boden gesetzt. Als Anprallelement wurde eine Steinmauer ausgewählt. Um die Stoßintensität zu reduzieren, wurde ein Stück Wellpappe als Dämpfelement an der Mauer befestigt (s. Ab-

bildung 13). Der Wagen wurde rd. 1 m vor der Wand positioniert und von Hand beschleunigt. Der Aufbau prallte mit dem Brett des Rollwagens gegen die Wellpappe und die Mauer. Der Stoß in VV 14 erfolgte in negativer X-Richtung und der Stoß in VV 15 in positiver Y-Richtung. Aufgrund hervorstehender Aufbauteile war nur diese Konfiguration möglich.

Tabelle 1 Versuchsprotokoll Vorversuche

MA-Vorversuche								
Versuchsprotokoll								
Nr	Aufgabe	Global X	Global Y	Global Z	Foto	Daten	Uhrzeit	Datum
1	Drehung um Z (0°) nach links	x	y	z	JA	JA	11:22 -	13.09.16
2	Drehung um Z (90°) nach links	-y	x	z	JA	JA	13:42	13.09.16
3	Drehung um Z (180°) nach links	-x	-y	z	JA	JA	14:12	13.09.16
4	Drehung um Z (270°) nach links	y	-x	z	JA	JA	14:30	13.09.16
5	Drehung um Z (360°) nach links	x	y	z	JA	JA	14:47	13.09.16
6	Drehung um X (90°) nach rechts	x	z	-y	JA	JA	17:20	13.09.16
7	Drehung um X (180°) nach rechts	x	-y	-z	NEIN	JA	17:32	13.09.16
8	Drehung um X (270°) nach rechts	x	-z	y	JA	JA	11:30	14.09.16
9	Drehung um X (360°) nach rechts	x	y	z	JA	JA	15:12	14.09.16
10	Drehung um Y (90°) nach links	-z	y	x	JA	JA	15:14	14.09.16
11	Drehung um Y (180°) nach links	-x	y	-z	NEIN	JA	15:15	14.09.16
12	Drehung um Y (270°) nach links	z	y	-x	JA	JA	15:16	14.09.16
13	Drehung um Y (360°) nach links	x	y	z	NEIN	JA	15:18	14.09.16
14	Rollwagen in x gegen Mauer	x	y	z	NEIN	JA		13.09.16
15	Rollwagen in y gegen Mauer	-y	x	z	JA	JA	15:47	13.09.16

Beobachtung

Bei der Drehung um die definierten Winkel konnte der Drehwinkel nicht exakt eingestellt werden, sodass die vorgegebenen Winkel lediglich grob als Vorgabe dienen und die Messergebnisse ausschließlich untereinander vergleichbar sind. Ausnahmen bilden hierbei die 360°-Drehung um die X- und Y-Achse.

Auswertung

Die Auswertung der Vorversuche (VV) erfolgte mit dem IFU-Programm für die IFU-Messbox und mit dem PocketDAQ Analyzer für den PocketDAQ und PICDAQ um mögliche Fehler in den internen Auswerteskripten zu umgehen. Nachfolgend werden zunächst Auszüge aus der Winkelveränderung des VV 2 gezeigt.

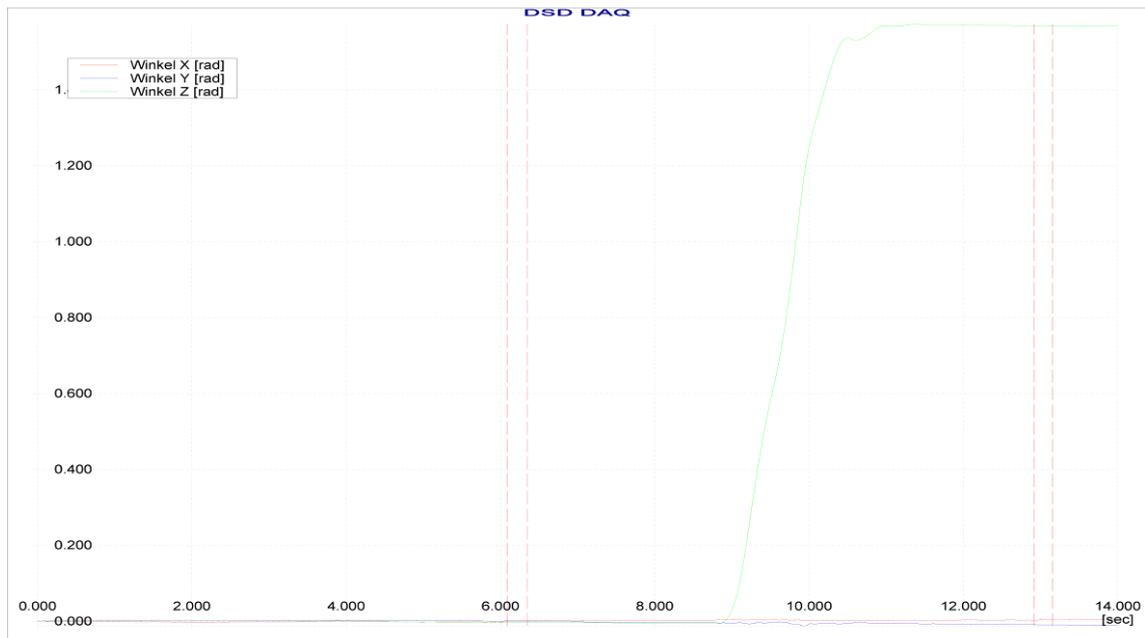


Abbildung 15 Winkel VV2 PID

Der PID zeigt eine Winkeländerung von rd. 1,6 rad an, das entspricht rd. $91,7^\circ$.

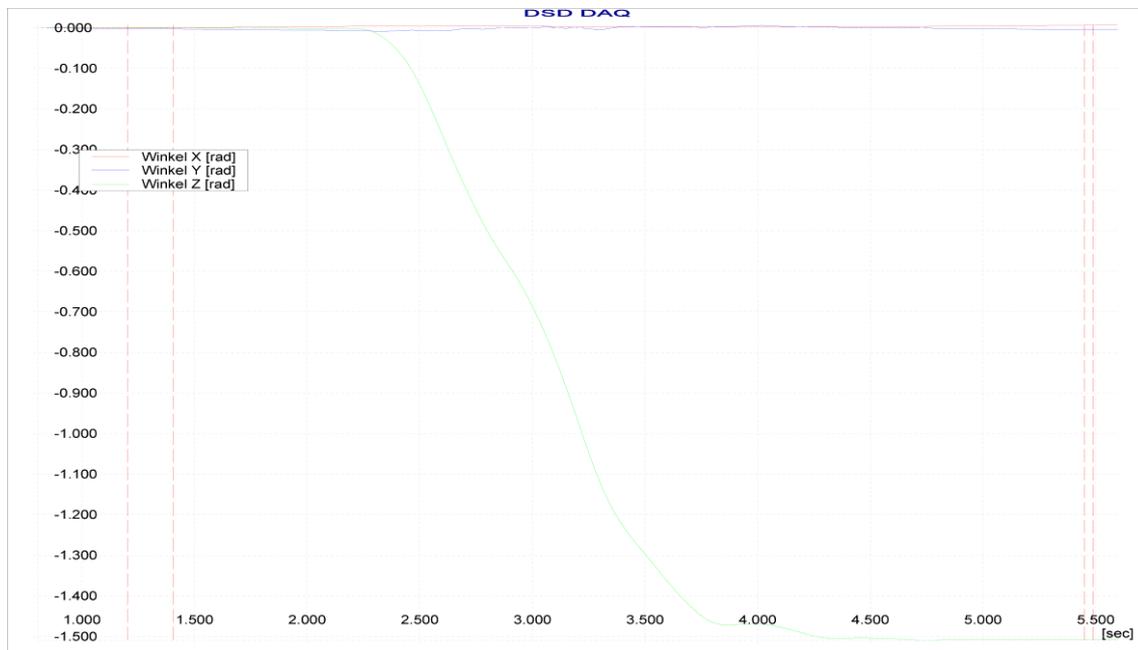


Abbildung 16 Winkel VV2 POD

Der POD weist eine Winkeländerung von rd. -1,5 rad auf, das entspricht rd. $-85,9^\circ$.

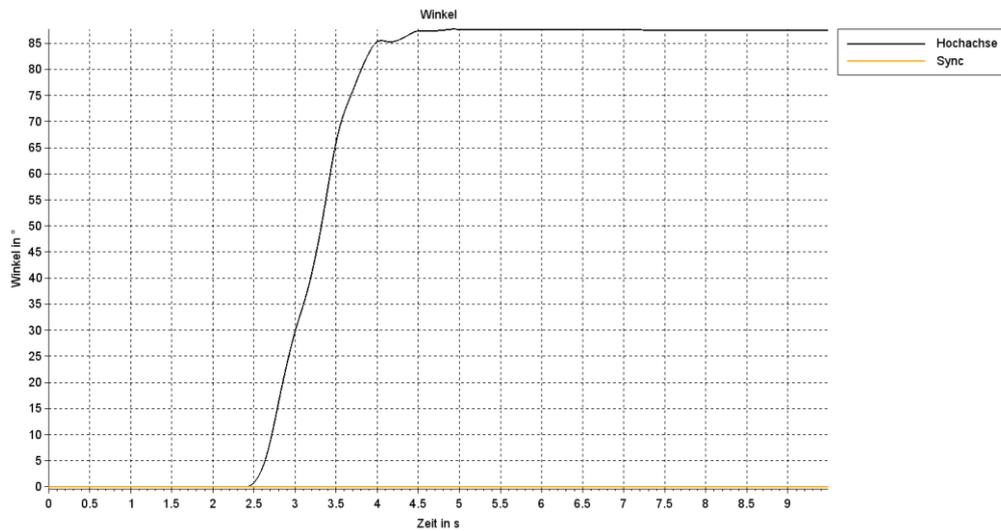


Abbildung 17 Winkel VV2 IFU

Die IFU-Messbox zeigt eine Winkeländerung von rd. $87,8^\circ$ an. Es fällt auf, dass der Winkel beim POD in die entgegengesetzte Richtung des Winkels des PID und der IFU-Messbox verläuft. Der Betrag des Winkels ist jedoch annähernd gleich. Der Wert der IFU-Messbox befindet sich dabei zwischen den Werten des PID und des POD. Für die Laborversuche wurden die Daten des POD mit einem Skript aufgearbeitet und dabei der Winkel des POD mit -1 multipliziert. Bei der manuellen Offset-Korrektur des IFU-Messwerte mit dem IFU-Programm ergab sich ein üblicher Offset des Gyrosensors in der Y-Achse von rd. $-0,4^\circ/s$ und ein Offset des Gyrosensors in der Z-Achse von rd. $0,4^\circ/s$.

Auf der der folgenden Seite sind die Beschleunigungsverläufe der drei verschiedenen Sensoren der IFU-Messbox beim Vorversuch 9 dargestellt. Bei diesem Versuch wurde der Geräteträger um 360° um die X-Achse gedreht. Die Beschleunigung in X-Richtung sollte also möglichst gering ausfallen. Auftretende Schwingungen sind auf die nicht exakt definierte Drehung zurückzuführen.

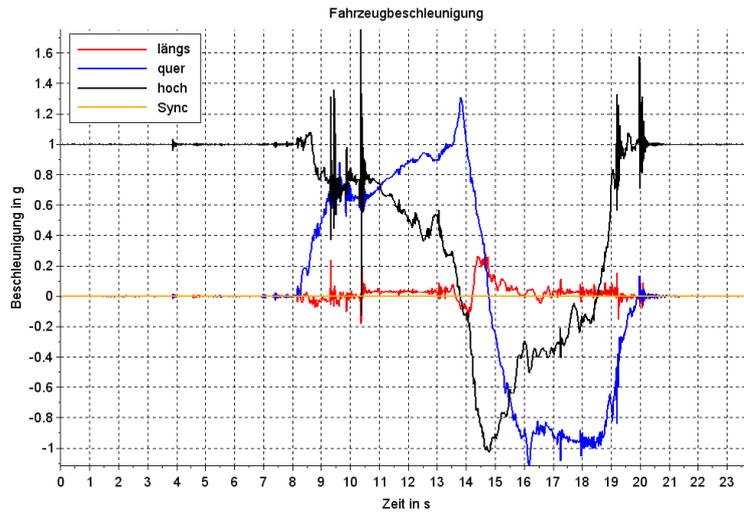


Abbildung 18 VV9 1,7 G-Sensor

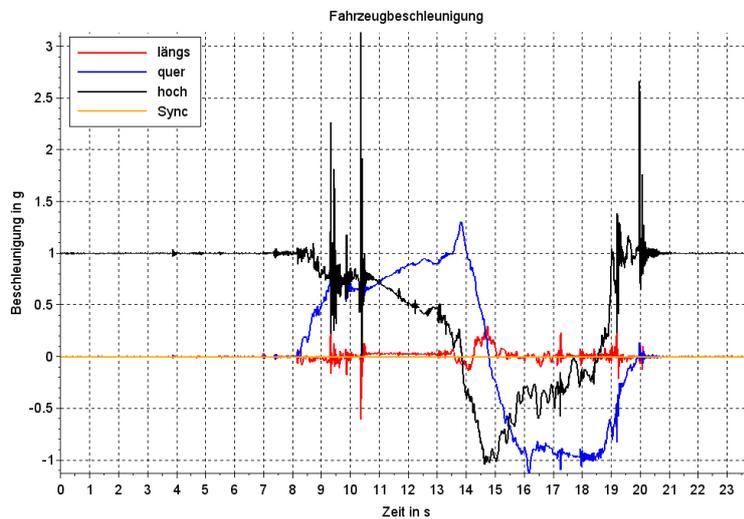


Abbildung 19 VV9 6 G Sensor

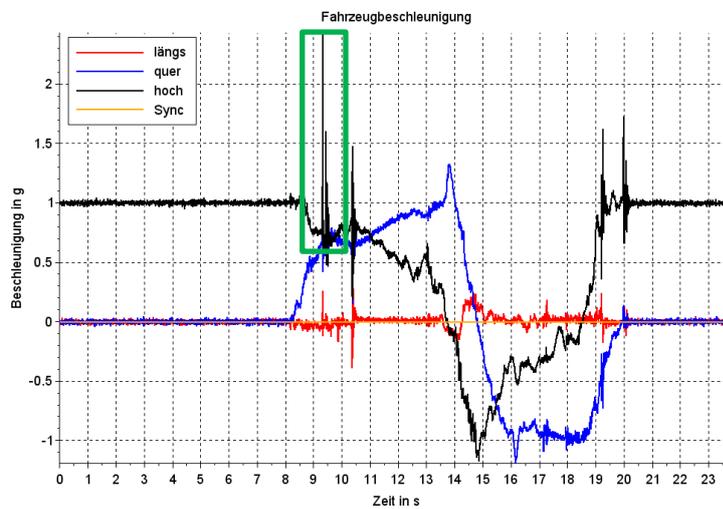


Abbildung 20 VV9 50 G-Sensor

Die drei oben dargestellten Graphen weisen ähnliche Verläufe auf: Die Beschleunigung in Z-Richtung ist zunächst konstant bei 1 G durch die Erdbeschleunigung. Durch die Drehung um 180° fällt der Wert auf -1 G. Bei dem Graph des 50 G-Sensor ist ein Überschwingen über 1 G zu erkennen. Da der Geräteträger um weitere 180° gedreht wird, steigt der Wert wieder auf 1 G. Die Drehung endet bei 360° und daher verändert sich die Beschleunigung in Z-Richtung auch nicht weiter. Die Ausschläge in Z-Richtung zeigen deutliche Unterschiede auf. Das Maximum des 1,7-G Sensors liegt bei rd. 1,7 G, beim 6 G-Sensor bei knapp über 3 G und beim 50 G-Sensor etwas unterhalb von 3 G. Da diese Peaks zum einen relativ kurz sind, handelt es sich hierbei um sogenannte Ausreißer, die nicht weiter berücksichtigt werden (s. grüne Markierung). Zum anderen können durch das Umgreifen weitere Beschleunigungen auf das System wirken. Beim Loslassen des Geräteträgers fällt dieser ein kurzes Stück nach unten und wird anschließend wieder gefangen, sodass auch größere Beschleunigungen als die Erdbeschleunigung wirken können. Insgesamt liegt die Differenz zwischen Maximum und Minimum ohne die Beachtung der Ausreißer, wie erwartet, bei allen Graphen bei rd. 2 G.

Die Beschleunigung in Quer-Richtung nimmt zu Drehbeginn von 0 G zunächst bis rd. 1 G zu. Nach dem Erreichen des Hochpunktes fällt der Graph der Beschleunigung bis auf -1 G. Anschließend steigt der Graph wieder auf 0 G und bleibt konstant auf dieser Höhe. Das Wechseln der Beschleunigung von 1 G auf -1 G lässt sich durch die Erdbeschleunigung erklären. Bei der 360° -Drehung wirkt die Erdbeschleunigung einmal in positive und einmal in negative Koordinatenrichtung des Sensors. Je nach Drehrichtung kann der Verlauf auch spiegelverkehrt entstehen.

Die Beschleunigung in der X-Richtung weist nur geringe Abweichungen von der Nulllinie auf. Zu Beginn der Drehung bei Sekunde acht sind auch beim X-Sensor geringe Beschleunigungsschwankungen zu erkennen. Ab Sekunde 11 verläuft der Graph nahezu konstant. Ab Sekunde 13 tritt eine Amplitude von 0,25 G auf. Anschließend sind wieder ausschließlich geringe Änderung der Beschleunigung zu sehen. Insgesamt sind die Abweichungen der Beschleunigung in X-Richtung von der Nulllinie gering. Der Versuch wurde also wie geplant durchgeführt. Die Beschleunigungssensoren haben im Vergleich untereinander nahezu dieselben Werte aufgezeichnet. Dies lässt den Schluss zu, dass die Sensoren in der IFU-Messbox gleich ausgerichtet sind. Die Graphen des PID und POD weisen ähnliche Verläufe auf.

Die Ergebnisse der weiteren Versuche sind in der Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2 Ergebnistabelle Vorversuche

MA-Vorversuche						
Versuchsergebnisse		mit WW ausgerichtet				
Nr	Aufgabe	Bemerkung	PID	POD	IFU	Einheit
1	Drehung um Z (0°) nach links		0	0	0	°
2	Drehung um Z (90°) nach links		85,9	91,7	87,8	°
3	Drehung um Z (180°) nach links		178,6	178,0	179,6	°
4	Drehung um Z (270°) nach links		266,9	264,1	267,9	°
5	Drehung um Z (360°) nach links	POD unreal	367,2	732,1	362,8	°
6	Drehung um X (90°) nach rechts	nach R wg. Aufbau	92,1	87,7	90,7	°
7	Drehung um X (180°) nach rechts		187,2	174,5	180,5	°
8	Drehung um X (270°) nach rechts	IFU Fehler	268,4	287,9	xxx	°
9	Drehung um X (360°) nach rechts	9-13 hintereinander weg	365,4	354,0	360,0	°
10	Drehung um Y (90°) nach links		88,6	87,9	91,6	°
11	Drehung um Y (180°) nach links		179,0	180,0	192,28	°
12	Drehung um Y (270°) nach links		436,6	289,9	270,5	°
13	Drehung um Y (360°) nach links		359,8	370,8	342,4	°
14	Rollwagen in x gegen Mauer	Stoßzeit sehr gering	13,5	10,2	3,7	G
15	Rollwagen in y gegen Mauer	Stoßzeit sehr gering	4,2	3,7	3,8	G

Auffällig waren die Werte des POD bei Versuch 5. Der Winkel wurde in diesem Fall mit $732,1^\circ$ angegeben. Das entspricht dem doppelten Sollwert. Eine plausible Erklärung für diese erhebliche Abweichung konnte nicht ermittelt werden.

Beim Versuch 8 zeigte die IFU-Messbox einen Fehler an. Bei der Auswertung ließ sich die Binärdatei in eine CSV-Datei wandeln. Die Auswertesoftware konnte jedoch die beschädigte CSV-Datei nicht einlesen. Der Fehler wurde durch einen unerheblichen Hardware-Fehler ausgelöst. Die Fehlerquelle wurde vom IFU behoben.

Die Winkel-Werte des POD wurde zur besseren Vergleichbarkeit mit -1 multipliziert dargestellt. Im Vergleich mit den Soll-, PID- und POD-Winkelwerten sind die Winkel der IFU-Messbox beachtlich ähnlich zu diesen Werten. Auch die Beschleunigungssensoren aller Messsysteme dokumentieren bei den Drehversuchen sehr ähnliche Werte. Daraus kann geschlossen werden, dass die jeweiligen Sensoren nahezu gleich orientiert montiert wurden. Die Gyrosensoren und Beschleunigungssensoren der IFU-Messbox weisen also bei den Drehversuchen keine groben Abweichungen auf. Bei den Stoßversuchen zeigen sich erhebliche Abweichungen der absoluten Werte, sodass die Geräte dahingehend genauer überprüft werden müssen. Die dargestellten absoluten Maxima wurden aus gefilterten Graphen entnommen, sodass die Abweichungen nicht auf Ausreißer zurückzuführen sind.

Laborversuche

Planung

Die Anforderung an die Laborversuche war es, eine reproduzierbare Beschleunigung auf die Messgeräte wirken zu lassen. Um die 6 G- und 50 G-Sensoren der IFU-Messbox zu testen, sollte jeweils eine Versuchsreihe durchgeführt werden: Eine Versuchsreihe knapp unterhalb von 6 G für den Test des 6 G-Sensors und eine Versuchsreihe unterhalb von 50 G und oberhalb von 6 G für den Test des 50 G-Sensors. Jeder Sensor sollte in die positive sowie die negative Richtung beschleunigt werden. Daraus ergibt sich, dass der Geräteträger um 0° und 180° gedreht wird, um die Sensoren der X-Richtung zu testen. Analog dazu muss für den Test der Sensoren in Y-Richtung die Geräteträger um 90° und 270° gedreht werden. Da die IFU-Messbox hauptsächlich für hohe Beschleunigungen in der X-Y-Ebene konstruiert ist, wurde auf einen Test der Sensoren in Z-Richtung mit den oben genannten Beschleunigungen verzichtet.

Für die Laborversuche wurden drei Aufbau-Konzepte entwickelt:

Konzept 1: Der Geräteträger wird wie bei den Stoßvorversuchen auf ein einem Rollbrett montiert. Das Rollbrett wird dann in einer definierten Höhe auf einer schrägen Ebene abgesetzt. Durch die Schräge beginnt das Rollbrett die Ebene herunterzurollen. Am Ende dieser Rampe stößt das Rollbrett gegen ein Parallelement, beispielsweise eine Wand. Durch die Variation der Starthöhe ließen sich unterschiedliche Geschwindigkeiten und damit Bremsbeschleunigungen an der Wand erzielen, sodass dieser Versuchsaufbau für den Test des 6 G Sensors sowie des 50 G-Sensors geeignet ist.

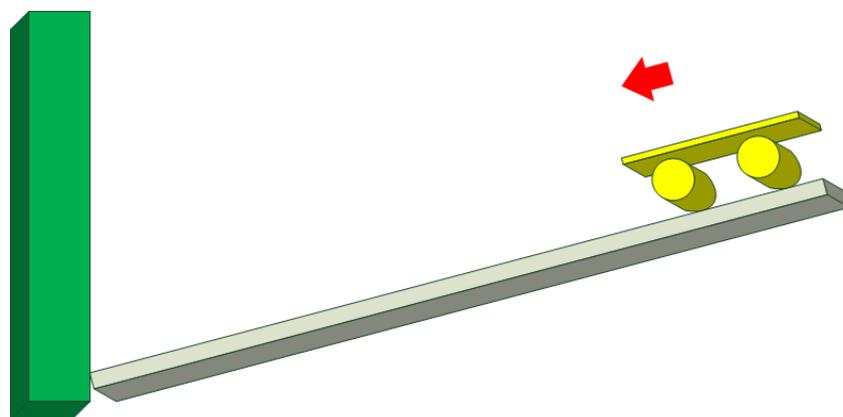


Abbildung 21 Konzept 1: Schiefe Ebene

Konzept 2: Der Geräteträger wird wie bei den Stoßvorversuchen auf einem Rollbrett montiert. Das Rollbrett wird dann mittels Seilzüge und einem Gewicht beschleunigt. Nach Ende der Beschleunigungsphase wird das Rollbrett wiederum durch Seilzüge und ein Gegengewicht definiert abgebremst. Durch die Variation der Gewichte ließen sich unterschiedliche Beschleunigungen in der Bremsphase erzeugen, sodass auch dieser Versuchsaufbau für den Test des 6 G Sensors sowie des 50 G-Sensors geeignet ist.

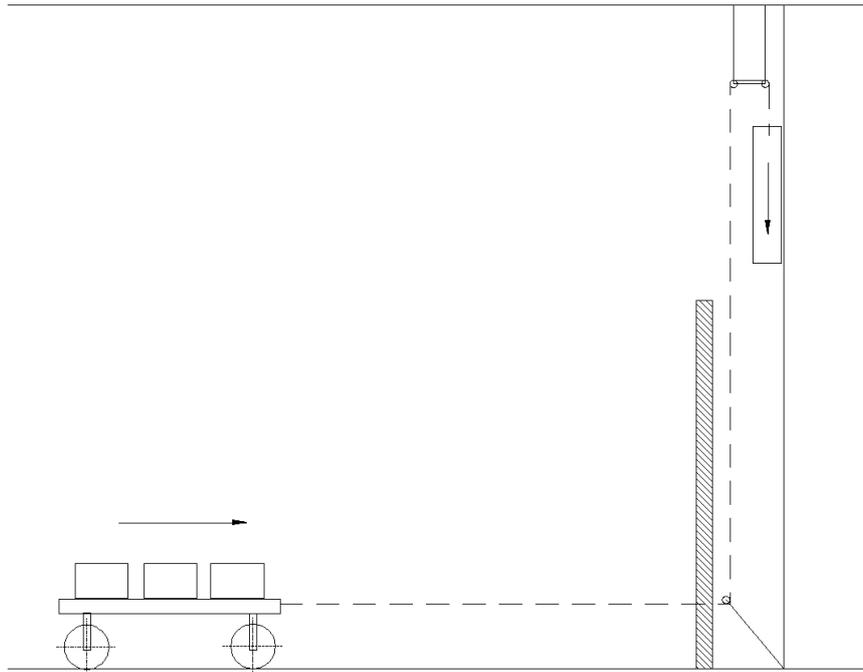


Abbildung 22 Konzept 2: Seilzüge

Konzept 3: Der Geräteträger wird auf dem horizontalen Schockprüfstand der HAW Hamburg befestigt (s. Abbildung 23). Dabei können die 50 G-Sensoren des Prüfstandes als zusätzliche Referenz dienen. Der Konstruktionsaufwand beschränkt sich bei diesem Konzept auf den Umbau des Prüfstandes und die Befestigung des Geräteträgers am Schlitten.

Aufgrund der zusätzlichen Referenzsensoren und dem bereits erprobten Versuchstand habe ich mich für Konzept 3 entschieden. Weiterhin stellte sich bei den Konzepten 1 und 2 die Frage, wie garantiert werden kann, dass sich der Rollwagen während der Fahrt nicht um die Hochachse dreht und so der Anstoß nicht nur in eine Sensorrichtung erfolgt. Der

horizontale Schockprüfstand der HAW verfügt bereits über eine Führung, die ein Verdrehen um die Hochachse verhindert, sodass bei diesem Aufbau dieser Parameter nicht berücksichtigt werden musste.

Aufbau

Der horizontale Schockprüfstand besteht aus zwei Teilen: Der Pendelhammer und der Schlitten (s. Abbildung 23). Der Hammer besteht aus einem 1,5 m langem Stab und einem Gewicht am Ende von 458 kg. Das Stielende des Hammers ist drehbar gelagert. Im Ruhezustand hängt der Hammer mit dem Gewicht nach unten. An der Stirnseite ist ein Gummipuffer angebracht. Für die Versuche wird der Hammer nach hinten ausgelenkt. Zwischen der Ruhelage und der ausgelenkten Lage ist der Winkel mittels einer Skala abzulesen.

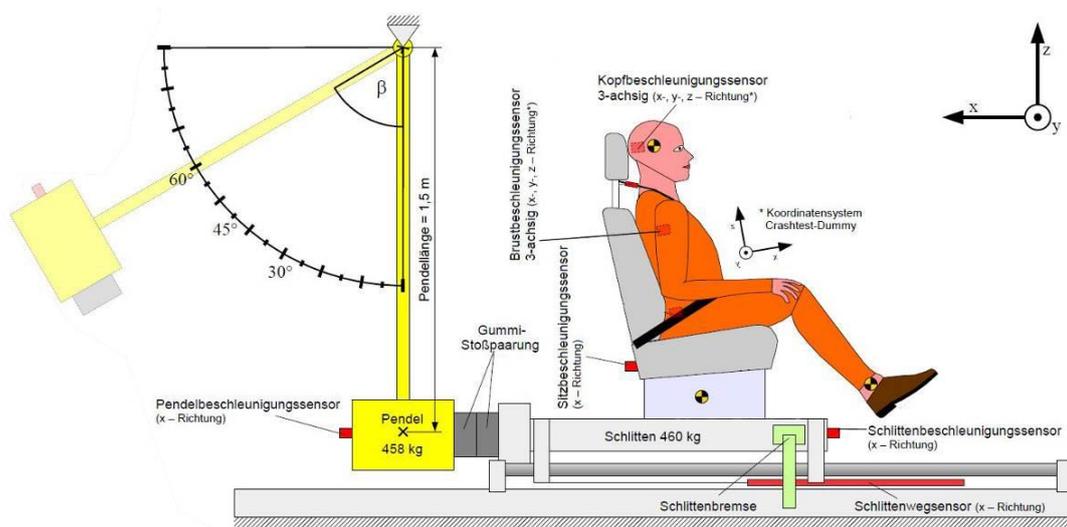


Abbildung 23 Skizze Aufbau Schlittenversuch, verändert nach [22]

Der Schlitten wird über zwei Führungsschienen geführt. Etwa mittig der Führungsschienen sind außerhalb des Schlittens die Bremsbacken angebracht. Die Bremsbacken werden über eine Feder gegen die Seiten des Schlittens gepresst. Am Stoßpunkt des Schlittens befindet sich - wie am Hammer - ein Gummipuffer. Auf dem Schlitten ist ein Autositz befestigt, auf dem ein Dummy mit einem handelsüblichen Automatikgurt angeschnallt wird. Der Dummy wiegt rd. 80 kg und ist von Grund an mit 3-Achsen-Beschleunigungssensoren am Kopf und der Brust ausgestattet. Am Schlitten, am Sitz und am Pendelham-

mer befinden sich noch 1-Achsen-Beschleunigungssensoren in X-Richtung. Des Weiteren wird der zurückgelegte Weg des Schlittens mit einem Schlittenwegsensor aufgezeichnet.



Abbildung 24 Übersicht Schlittenversuch

Zusätzlich wurden am Kopf und an der Brust externe Sensoren des PID, des POD und der IFU-Messbox angebracht (s. rote Pfeile, Abbildung 24). Der Kopfsensor der HAW ist im Hinterkopf und damit in Verlängerung der Wirbelsäule des Dummy montiert. Da dort kein Platz für weitere Sensoren war, wurden die anderen externen Sensoren an der Stirn des Dummies mit Klebeband befestigt. Diese Platzierung der Sensoren entspricht dem am IFU üblichen Montageort von Sensoren am Menschen: Bei einem Heckanstoß prallt der Hinterkopf gegen die Kopfstütze. Der Hinterkopf ist also nicht für die Aufnahme von Sensoren geeignet. Eine Anbringung an der Seite oder auf dem Kopf hat sich in den letzten Jahren bei Versuchen am IFU als umständlich herausgestellt, sodass die Stirn der beste Ort zur Anbringung an lebenden Versuchsprobanden ist. Die externen Sensoren an der Brust des Dummies wurden mittels eines Keils nahezu senkrecht aufgestellt.

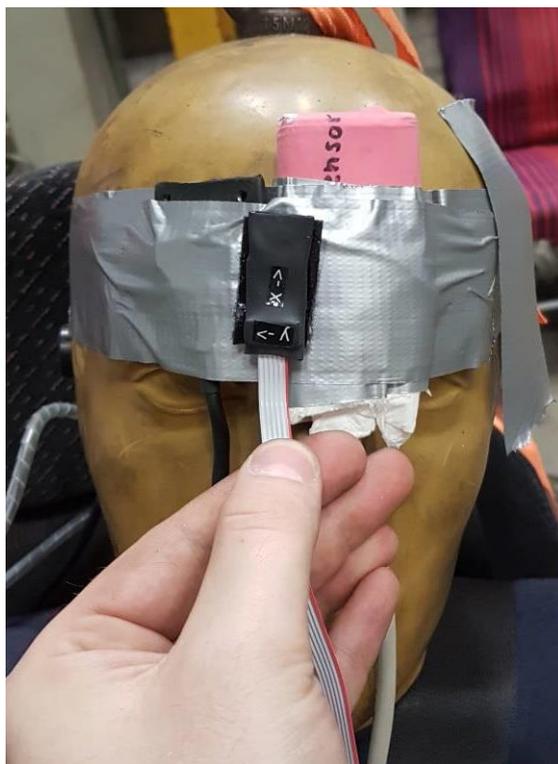


Abbildung 25 Sensoren am Kopf



Abbildung 26 Sensoren an der Brust

Für meine Laborversuche wurde der Schockprüfstand der HAW umgebaut. Der Anschlagpunkt für den Automatikgurt wurde an der Seite angebracht, damit der Geräteträger hinter dem Sitz mit dem Schlitten formschlüssig verbunden werden konnte. Erste Vorversuche am Schlitten hatten gezeigt, dass eine kraftschlüssige Verbindung nicht ausreichend die wirkende Beschleunigung übertragen konnte. Die Ausrichtung des Geräteträgers erfolgte mittels eines metrischen Gliedermaßstabes an dem Gestell des Fahrzeugsitzes.

Bei wenigen Versuchen wurde die Bewegung des Schlittens, des Autositzes sowie des Dummys mit einer Hochgeschwindigkeitskamera festgehalten. Die Kamera zeichnete von der Seite auf. Zu der Kamera wurden zwei Strahler aufgestellt, die den Versuchsstand sehr hell anleuchteten. Da die Belichtungszeit der Kamera mit 1000 Bilder pro Sekunde sehr kurz ist, benötigt man diese hohe Lichtleistung zur ausreichenden Belichtung.

Durchführung

Die Versuche wurden vom 21.09.2016 bis zum 26.09.2016 an der HAW durchgeführt. Ich wurde von Herrn Theilen (Leichtbaulabor HAW) in den Versuchsaufbau und die Bedienung eingewiesen. Die einzelnen Versuche wurden auf einem selbst erstellten Protokoll dokumentiert (s. Anhang A). Es wurde jeweils die Uhrzeit und das Datum notiert. Dazu kam in der Spalte „Bemerkung“ die Länge der Strecke in mm, die der Schlitten zurückgelegt hat. Diese Strecke wurde mittels eines metrischen Gliedermaßstabes ermittelt³. Es wurden zwei Versuchsreihen absolviert mit je 40 Versuchen. Benannt wurden die Versuchsreihen in 6 G und 16 G, obwohl die Beschleunigung bei diesen Reihen nicht exakt bei 6°G und 16 G lag. Die 40 Versuche bestanden aus 10 Versuchen, bei denen die lokale X-Achse der globalen entsprach, 10 Versuchen, bei den der Geräteträger um 90° gedreht wurde, weitere 10 Versuche bei den die Geräte um 180° gedreht waren und schlussendlich 10 Versuche, bei denen der Geräteträger um 270° verdreht war.

Vor den eigentlichen Versuchen wurde grob ermittelt, wie hoch das Pendel gezogen werden musste, um eine Beschleunigung ungefähr unterhalb von 6 G zu erzeugen. Dabei erwies sich der Winkel für den Pendelausschlag von 30° als geeignet. Für die Ermittlung des Pendelauschlages für die 16 G Versuche wurde das Pendel sukzessiv weiter nach

³ Umgangssprachlich als Zollstock bezeichnet

oben gezogen. Als begrenzender Parameter stellte sich dann die Bremsleistung des Versuchsstandes ein. Bei einer Auslenkung von 70° reichte die Bremsleistung gerade noch aus. Das Pendel hätte theoretisch weiter ausgelenkt werden können. Die 16 G als wirkende Beschleunigung wurden bei der Auslenkung von 70° nicht erreicht. Die Winkel für die beiden Versuchsreihen waren also 30° und 70° .

Diese Vorversuche am Schockprüfstand wurden mit der Hochgeschwindigkeitskamera aufgezeichnet (s. Anhang B). Um die Strahler zu schonen, wurde auf eine Aufzeichnung aller Versuche verzichtet. Weiterhin wurden exemplarisch Videos in Echtzeit aufgenommen (s. Anhang B)

Zu Beginn jedes Versuches wurde der Schlitten in die Startposition geschoben. Anschließend wurde kontrolliert, ob keine losen Werkzeuge o.ä. mehr auf dem Schlitten lagen und der Dummy ordnungsgemäß angeschnallt war. Dann wurden alle Messgeräte eingeschaltet. Es wurde kontrolliert, ob die Bremse geschlossen war. Im Anschluss wurde das Pendel mit einer Seilwinde nach hinten oben ausgelenkt, bis der gewünschte Winkel eingestellt war. Vor der Auslösung wurde nochmals die Bremse geprüft. Dann wurde das Pendel ausgelöst. Das Pendel stieß gegen den Schlitten und beschleunigte diesen nach vorne. Der Schlitten wurde nach einer kurzen Wegstrecke von den Bremsen bis zum Stillstand abgebremst. Nach dem der Schlitten und das Pendel zum Stillstand kamen, wurden die Aufzeichnung der Geräte wieder beendet und die zurückgelegte Strecke gemessen. Anschließend wurde die Bremse geöffnet und der Schlitten zurückgeschoben. Weiterhin wurde die Bremse wieder geschlossen und der Dummy in die normale Sitzposition gebracht. Nach jeweils fünf Versuchen wurden die aufgezeichneten Messdaten gesichert und stichprobenartig geprüft.

Beobachtung

Der PocketDAQ gab bei mindestens fünf Versuchen nach der Durchführung eine Fehlermeldung aus. Beim Versuch 37 der 16 G-Versuchsreihe zeigte die Voransicht des HAW-Messsystems keine plausiblen Werte. Zudem kam, dass bei Versuch 15 sowie 31 der 6 G-Versuchsreihe keine Messaufzeichnung des HAW-Messsystems stattgefunden hat. Dies ist auf eine Fehlbedienung zurückzuführen. Bei der stichprobenartigen Prüfung der Messdaten aller Geräte konnten keine Mängel festgestellt werden.

Auswertung der Beschleunigung von den internen Sensoren

Die Daten der Versuche wurden entsprechend Abbildung 1 aufbereitet. Aufgrund der Menge der Versuche wurde für den PID und den POD der Prozess bis zur „Auswertung mit IGOR“ mit Hilfe von teilweise vorhandenen und teilweise eigens dafür entwickelten Skripten automatisiert: Die Konvertierung der Binärdateien in TXT-Dateien erfolgte händisch. Die Aufbereitung, das „Header abschneiden“ sowie „Unter „Roh- „speichern“ wurde von mir in einem Makro mit dem Programm AutoHotkey programmiert. Das „interne Skript“ des IFU wurde von mir so modifiziert, dass die einzelnen Dateien automatisch geladen, die Daten aufbereitet und als TXT-Datei exportiert wurden. Die exportierten Daten wurden in verschiedenen Dateien gespeichert; unterschieden in: gefilterte, ungefilterte, und Ausreißer-eliminierte Daten. Für die Auswertung mit IGOR wurden ausschließlich die 100 Hz gefilterten und die Ausreißer-eliminierten Dateien genutzt.

Die Dateien wurden mittels eines eigenen Skripts automatisch eingelesen. In IGOR wurden die Beschleunigungen gegenüber der Zeit als Graph dargestellt (s. Abbildung 27). Da der PID nur über zwei verschiedene Sensortypen verfügt, den 1,5 G und den 200 G, wurde für die Laborversuche der 200 G ausgewertet. Beim POD wurde entsprechend der Versuchsreihe der auszuwertende Sensor ausgewählt. In IGOR wurde dann das Maximum und das Minimum der Beschleunigung ermittelt.

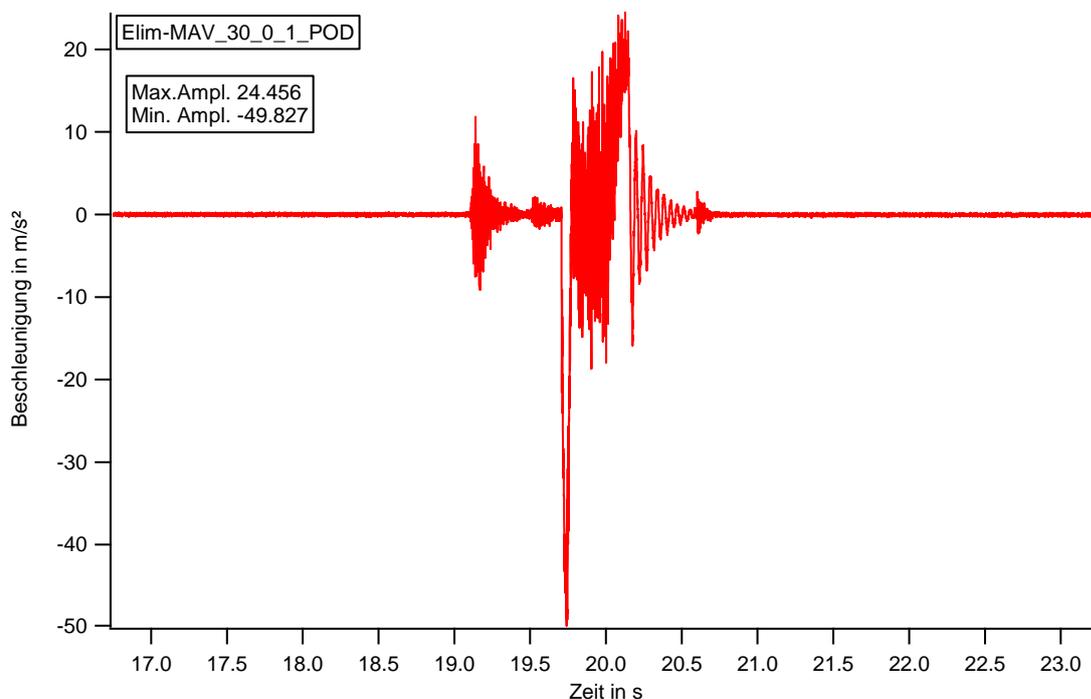


Abbildung 27 Beschleunigung POD Versuch 1 bei 30° Auslenkung

Die Dateien der IFU-Messbox wurden bis zum „Export als CSV“ mit vorhandener Software einzeln aufbereitet. Für die Auswertung mit IGOR wurden auch nur die 100 Hz gefilterten und die Ausreißer-eliminierten Dateien genutzt. Die Dateien wurden mittels eines eigenen Skript automatisch eingelesen. In IGOR wurden die Beschleunigungen gegenüber der Zeit als Graph wie beim PID und beim POD dargestellt (s. Abbildung 28). Zu beachten ist, dass die Graphen spiegelverkehrt verlaufen. Dies ist auf die umgedrehte Einbaulage zurückzuführen. Bei der IFU-Messbox wurde entsprechend der Versuchsreihe der auszuwertende Sensor ausgewählt. In IGOR wurde dann wie beim POD und PID das Maximum und das Minimum der Beschleunigung ermittelt und dargestellt.

Zunächst ist die Auslösung des Pendels zu erkennen (s. grüne Markierung, Abbildung 28). Dabei wird das Pendel im ausgelenkten Zustand pneumatisch vom Stahlseil gelöst. Darauf folgt ein kurzer Moment bei dem keine Beschleunigung aufgezeichnet wurde. In diesem Bereich bewegt sich das Pendel nach unten. Dann stößt das Pendel gegen den Schlitten und beschleunigt diesen nach vorne (s. blaue Markierung, Abbildung 28). Für einen kurzen Zeitraum bewegt sich der Schlitten nahezu konstant. Daran ist zu erkennen, dass geringe Beschleunigungen gewirkt haben. Danach erfolgt die Bremsung (s. gelbe Markierung, Abbildung 28). Nachdem die maximale Verzögerung erreicht ist, sind Schwingungen zu erkennen, die mit der Zeit abklingen und sich die Beschleunigung wieder dem konstanten Wert 0 m/s^2 annähert.

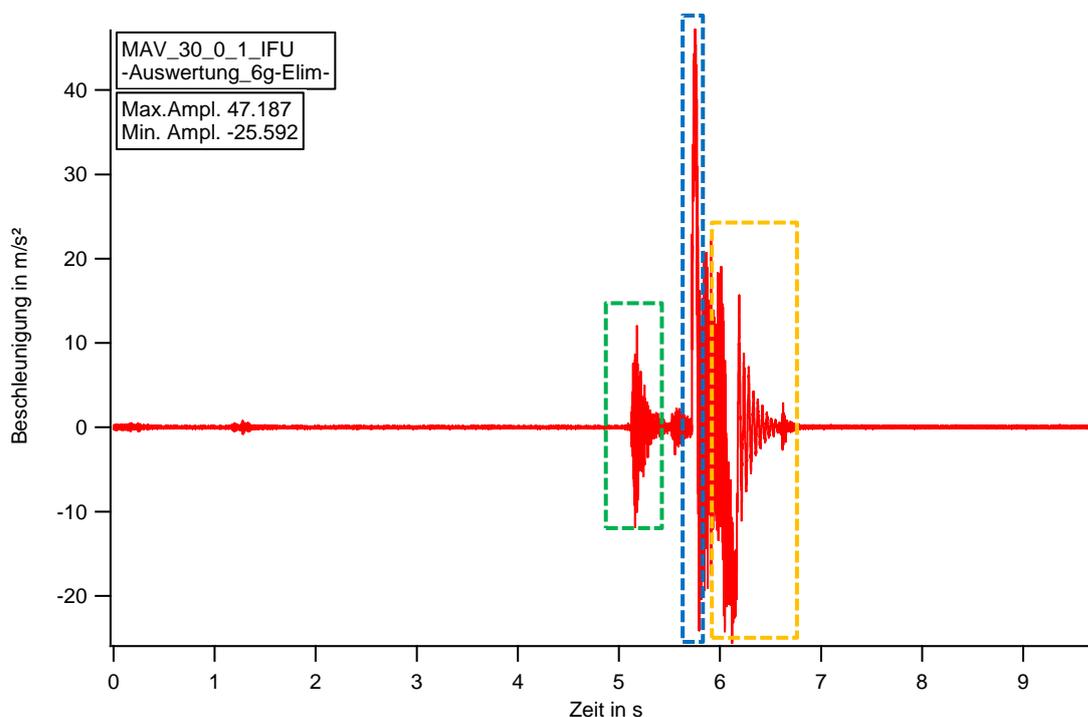


Abbildung 28 Beschleunigung IFU Versuch 1 bei 30° Auslenkung

Die Auswertung der UDS-Daten war nicht möglich, da vermutlich entweder bei der Speicherung oder Konvertierung der Dateien ein unbemerkter Fehler aufgetreten ist. Vor Ort wurde bei der stichprobenartigen Kontrolle der Messdaten mit der UDS-Software ein üblicher Verlauf der Beschleunigungen als Graph dargestellt. Die UDS-Daten wurden dann gespeichert und später in TXT-Dateien konvertiert. Bei der Auswertung wurde ferner festgestellt, dass die Daten in den Dateien unbrauchbar waren: Zum einen fehlt der für einen UDS-Schrieb üblichen Aufzeichnungszeitraum mit der der höheren Abtastrate und zum anderen entspricht der Verlauf der Beschleunigung nicht dem Verlauf der Beschleunigung der anderen Messsysteme (s. Abbildung 29).

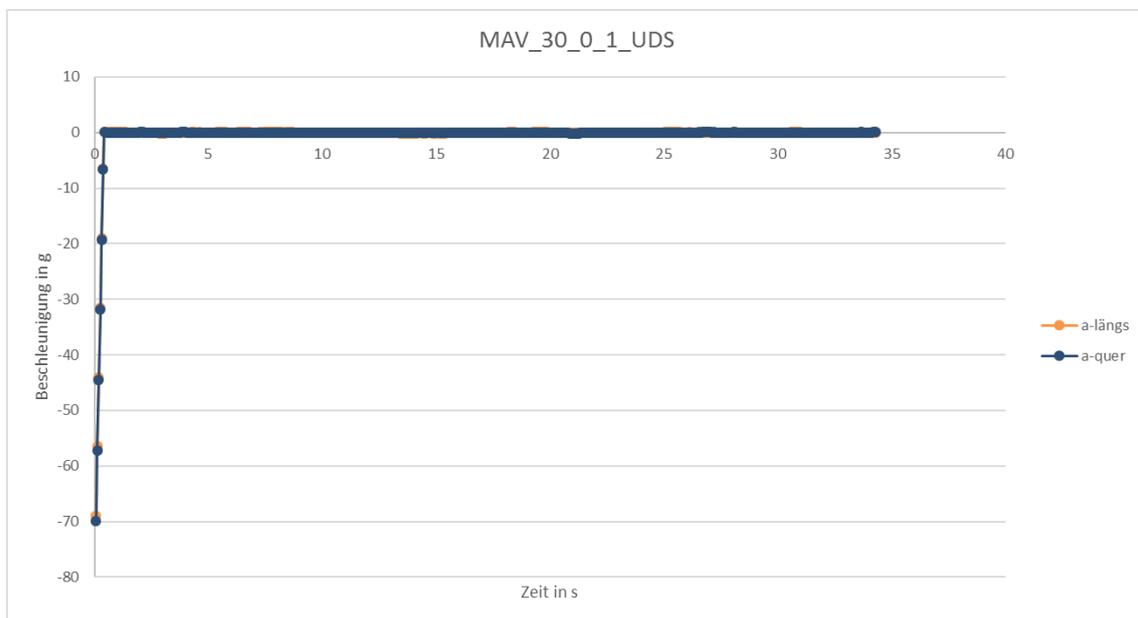


Abbildung 29 Beschleunigung UDS Versuch 1 bei 30° Auslenkung

Zu Beginn ist ein äußerst großer Beschleunigungswert zu sehen und danach verläuft der Graph bei nahezu 0 G, sowohl in längs- als auch in quer-Richtung. Sämtliche UDS-Daten aus dem Laborversuch zeigen diesen Verlauf mit unterschiedlichen Beschleunigungswerten am Anfang. Auch nachdem die Original-Dateien wieder in der UDS-Software geöffnet wurden, zeigt sich dieser Verlauf. Entweder entstand der Fehler beim Speichern der Dateien oder es wurden durch die Konvertierung der Originale in TXT-Dateien auch die Original-Dateien verändert. Die Daten des UDS sind also vollständig nicht verwertbar. Da die Unsicherheit der Werte zu hoch ist, wurde auch keine statistische Auswertung der UDS-Daten vorgenommen.

Die als weitere Referenz genannten Messwerte des HAW-Versuchstandes wurden direkt vom Versuchstand als CSV-Datei exportiert. Die Daten wurden dann in IGOR importiert. Dabei war ersichtlich, dass keine Ausreißer und wenige Überschwinger oder ähnliche Abweichungen vorhanden waren. Es ist denkbar, dass die Daten bereits vor dem Export gefiltert wurden. Die Aufzeichnungsdauer ist zudem wesentlich geringer als bei den vorherigen Messschrieben, die zum Teil noch gekürzt wurden.

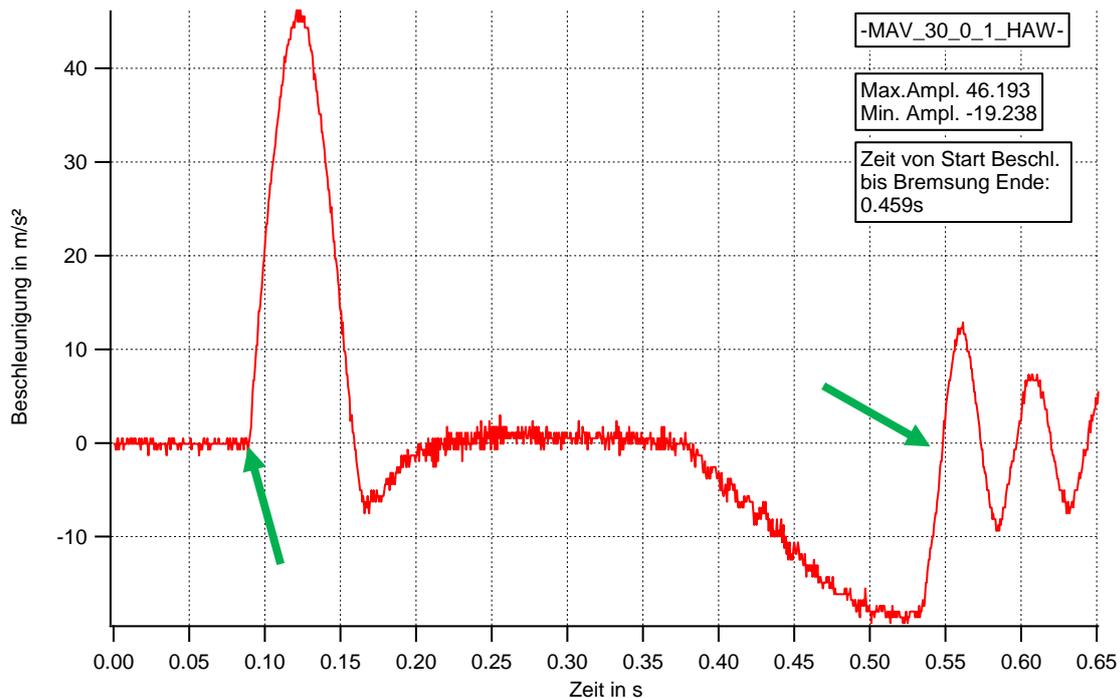


Abbildung 30 Beschleunigung HAW Versuch 1 bei 30° Auslenkung

Auch hier wurden das Maximum sowie das Minimum eingeblendet. Zudem wurde die Zeit vom Beginn der Beschleunigung bis zum ersten Nulldurchgang nach der maximalen Bremsbeschleunigung berechnet (s. grüne Pfeile). Da die Qualität der den oben gezeigten Graphen des PID, des POD und der IFU-Messbox für eine Zeitbestimmung ausreichend ist, wurden die Graphen näher betrachtet (s. Abbildung 31). Die Auswertung der Zeitdauer erfolgt anhand der Ausreißer-eliminierten Daten, da bei den gefilterten Daten die Zeiten entsprechend dem Filter neu berechnet werden. Dies könnte zu einem systematischen Fehler führen. Bei dem 100 Hz Filter würden bei der vorliegenden Methode die Zeitschritte auf 0,001 s-Schritte neu berechnet. Die Ausreißer-eliminierten Daten weisen weiterhin die Zeitschritte der Messsysteme auf.

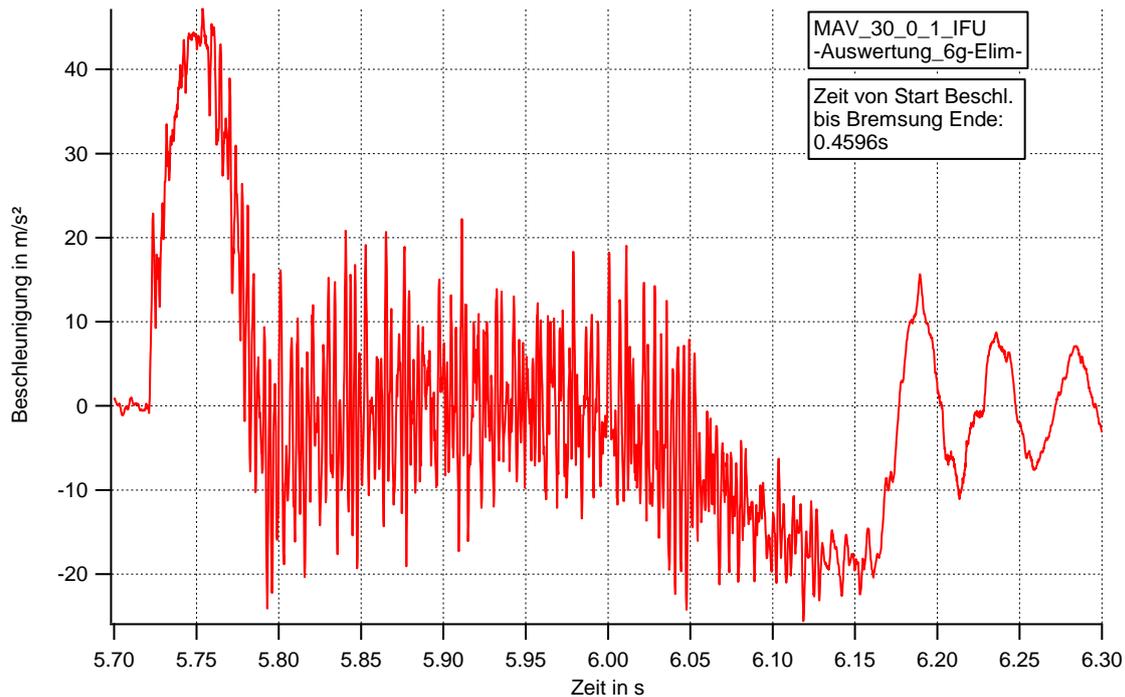


Abbildung 31 Detail IFU Versuch 1 bei 30° Auslenkung

Da die Messwerte einem gewissen Rauschen unterliegen, war es nicht möglich, den Zeitpunkt des Nulldurchganges exakt zu bestimmen. Daher wurde bei jeder Auswertung die steigende Flanke zu Beginn der Beschleunigung zum ersten Nulldurchgang zurückverfolgt. Der am nächsten an der Nulllinie liegende Zeitpunkt wurde dann als Startpunkt der Zeitmessung ausgewählt. Da bei einigen Versuchen das Rauschen so gering war und der Offset über der Nulllinie lag, sodass kein Nulldurchgang feststellbar war, wurde durch die steigende Flanke eine Gerade gelegt und der Nulldurchgang dieser Geraden als Startzeitpunkt gewählt. Beim Nulldurchgang am Ende des Versuches wurde ebenfalls der am nächsten liegende Zeitpunkt als Endzeitpunkt zur Zeitdauerbestimmung verwendet. Dieses Verfahren wurde bei den Messwerten aller Messplattformen angewendet.

Für die Analyse des Rauschens wurde in IGOR nach der Bestimmung der Zeitdauer, des Maximums und des Minimums der Bereich vor der ersten Beschleunigung betrachtet. Hier war es wichtig, dass nur das Rauschen und keine weiteren Störungen auftraten. Bei der IFU-Messbox wurden die 2 Sekunden vor dem Beschleunigungsbeginn ausgewertet. Bei den anderen Messsystemen wurde ein ähnlicher Zeitraum untersucht. Da gelegentlich der Zeitraum vor dem Beschleunigungsbeginn zu gering war, wurde diese Daten über einen geringeren aber möglichst nahe den 2 s dauernden Zeitraum ausgewertet. Da die kleinste Abtastrate bei 2000 Hz liegt und daher alle 0,0005 s ein Messwert aufgenommen

wird, sollte dieser Fehler vernachlässigbar sein. Die anderen Messsysteme haben mit höheren Abtastraten gearbeitet, z.B. die IFU-Messbox mit 5000 Hz.

Bei der Auswertung des Rauschens wurde ein Histogramm erstellt, bei dem die Beschleunigungen auf der X-Achse und die Anzahl der in der Klasse aufgetreten Beschleunigungen auf der Y-Achse aufgetragen wurden. Die Breite der Klassen orientiert sich an dem Auflösungsvermögen der Sensoren bzw. der Quantisierung des Signals, damit keine Lücken im Histogramm entstehen. Lücken können nur entstehen, wenn in einer Klasse kein Messwert aufgenommen wurde. Um dies zu vermeiden, wurden die Beschleunigungsverläufe als Punktdiagramme dargestellt (s. Abbildung 32).

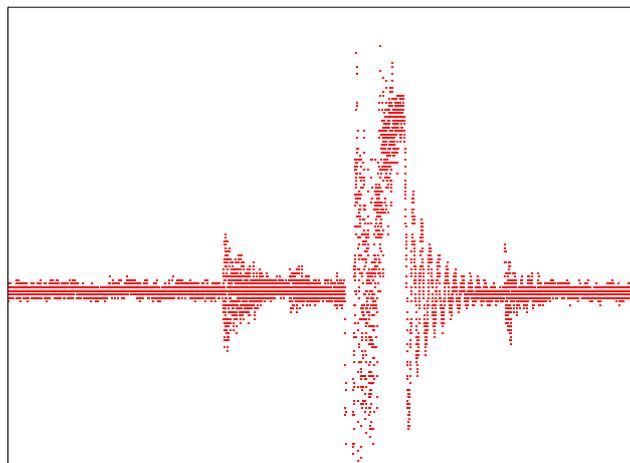


Abbildung 32 Ausschnitt aus Elim-MAV_70_0_10_POD

Bei näherer Betrachtung erscheinen die Punkte dann als waagerechte Linien (Abbildung 33). Aus dem Linienabstand wurde die Klassenbreite ermittelt, hier $0,093558 \text{ m/s}^2$. Dabei ist zu beachten, dass keine Intervallgrenze mit einer waagerechten Linie zusammenfällt, da ansonsten die o.g. Lücken entstehen würden.



Abbildung 33 Waagerechte Linien aus Elim-MAV_70_0_10_POD

Als Besonderheit ist zu vermerken, dass bei der IFU-Messbox keine waagerechten Linien festgestellt werden konnten, sodass hier die Klassenbreite auf $0,05 \text{ m/s}^2$ festgelegt wurde.

Das Histogramm des Versuchs MAV_30_0_1 mit den Ausreißer-eliminierten Werten des 6 G-Sensors der IFU-Messbox wird hier exemplarisch gezeigt (s. Abbildung 34). Das Rauschen des 6 G Sensors bewegt sich offensichtlich zwischen $\pm 0,2 \text{ m/s}^2$ in 8 Klassen, aber nicht in allen Klassen gleich häufig. Daher wird, um die Rauschbreite besser beschreiben zu können, die Verteilung der Messwerte mittels der Normalverteilung (bzw. Gauß-Verteilung) angenähert. Dabei ist ausschließlich der „width“-Wert von Bedeutung, der hier direkt ein Wert für die Rauschbreite ist. Er liegt hier bei 0,087.

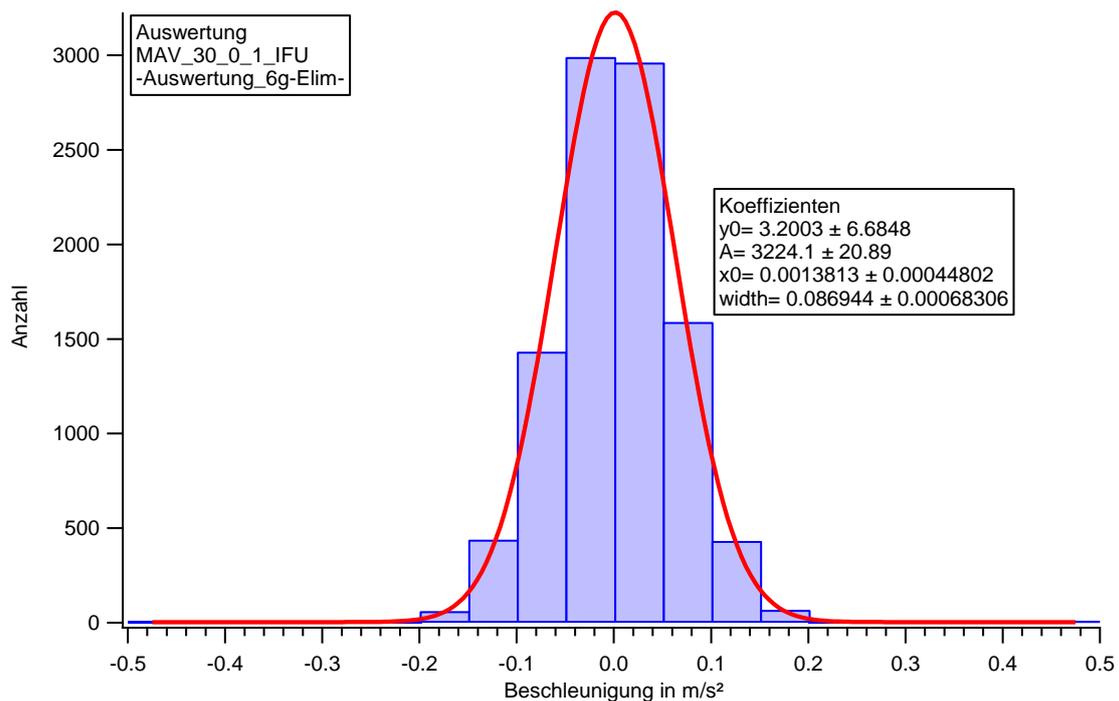


Abbildung 34 Histogramm 6 G Ausreißer-eliminiert

Zum Vergleich ist nachfolgend der gleiche Versuch desselben Messsystems mit gefilterten Daten abgebildet (s. Abbildung 35). Bei gefilterten Daten ist die Rauschbreite wesentlich geringer als bei ungefilterten. Zu beachten ist bei der Abbildung, dass zwar die Klassenbreite auf $0,2 \text{ m/s}^2$ und X-Achse um Faktor 2 skaliert wurde, die Klassenhäufigkeit jedoch abgenommen hat. Es gibt lediglich 4 Klassen und das Rauschen bewegt sich nur noch zwischen $\pm 0,05 \text{ m/s}^2$. Der „width“-Wert liegt dann bei 0,019.

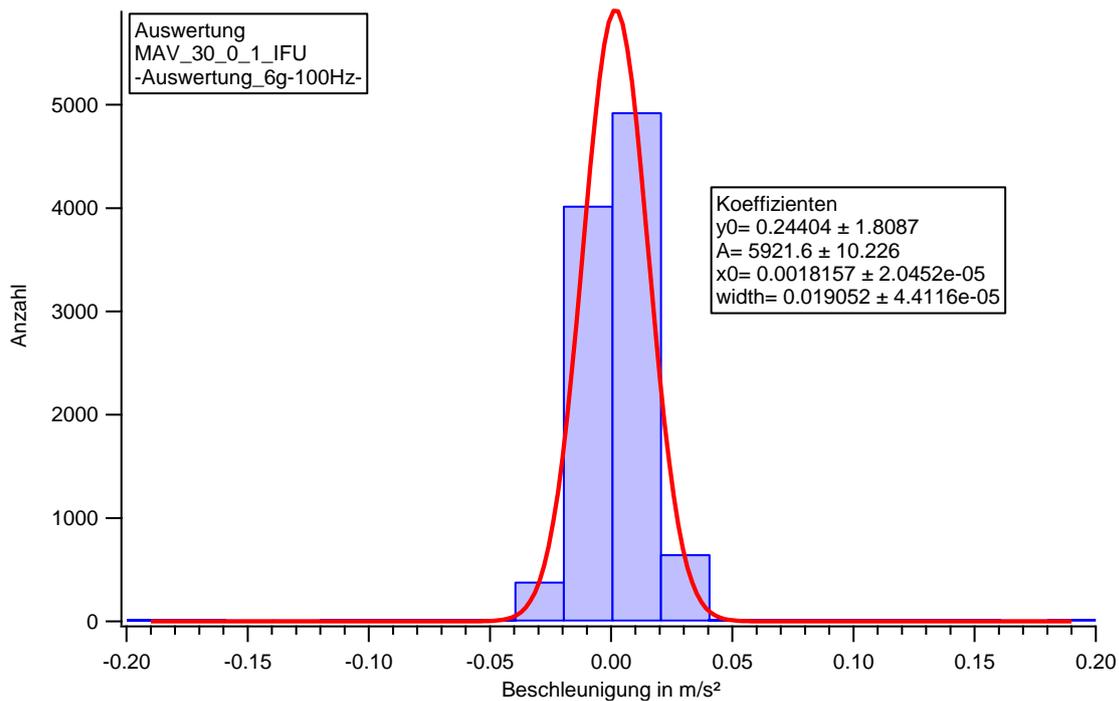


Abbildung 35 Histogramm 6 G 100 Hz Filter

Die „width“- Werte, die „x0“-Werte, die Maxima, die Minima und die ermittelte Zeitdauer aller Versuche wurden händisch in ein Excel-Blatt übertragen, da der automatische Export mit IGOR nicht möglich war (s. Anhang B). Die x0-Werte bilden die Qualität des angegebenen Offsets ab. Damit zeigen sie beim PID und beim POD, wie präzise das Skript den Offset automatisch ermittelt hat. Bei der IFU-Messbox weist dieser Wert daraufhin, wie genau der Benutzer den Offset ermittelt und eingestellt hat. Die folgende statistische Auswertung beruht auf den 100 Hz-gefilterten Daten, da hier die Beeinflussung der Extrema durch Ausreißer oder Überschwinger wesentlich geringer ist.

Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung wurden die Maxima und die Minima, also die Vorwärtsbeschleunigung und die Bremsbeschleunigung, als absolut angesehen, um die Werte besser vergleichen zu können. Zu beachten ist, dass die reale Beschleunigung nicht bei jedem Versuch gleich ist. Daher sind leichte Abweichungen möglich. Im Folgenden werden zunächst die Maxima der gesamten Versuchsreihe mit der 30° Auslenkung ausgewertet (s. Abbildung 36). Von der IFU-Messbox sind hier die Daten des 6 G-Sensors abgebildet. Auf der Ordinate sind die Beschleunigungen und auf der Abszisse die Messsysteme dargestellt. Für die einzelnen Messsysteme wurden die Mittelwerte sowie die Unter- und Obergrenze der ermittelten Beschleunigung abgebildet.

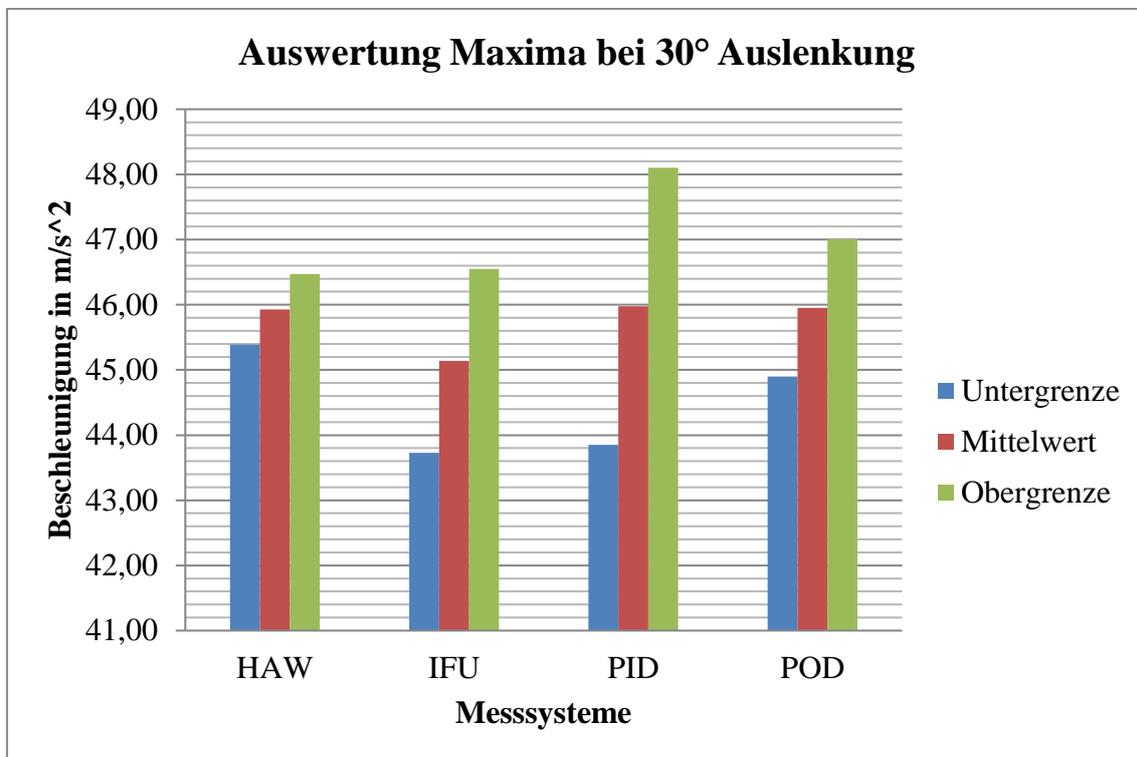


Abbildung 36 Auswertung der Maxima bei 30° Auslenkung

Bei der ersten Betrachtung fällt auf, dass der Mittelwert der Daten des HAW-Versuchstandes ähnlich dem Mittelwert der Daten des PID und des POD ist. Der Mittelwert der Daten der IFU-Messbox liegt rd. 0,8 m/s² darunter. Die Spannweite bzw. die Standardabweichung ist bei den HAW-Daten geringer als bei den anderen Messsystemen, wobei der PID mit der größten Abweichung das Schlusslicht bildet. Die Obergrenze der IFU-Daten liegt nahezu gleichauf mit der Obergrenze der HAW-Daten. Die Untergrenze der IFU-Daten ist der tiefste Wert dieser Analyse.

Bei den Minima (s. Abbildung 37) liegt der höchste Mittelwert beim PID (20,14 m/s²) und der niedrigste bei den HAW Daten (19,14 m/s²). Die Werte des POD und der IFU-Messbox liegen dazwischen. Die Standardabweichung der IFU-Messbox liegt nun unterhalb der Standardabweichung des POD und des PID.

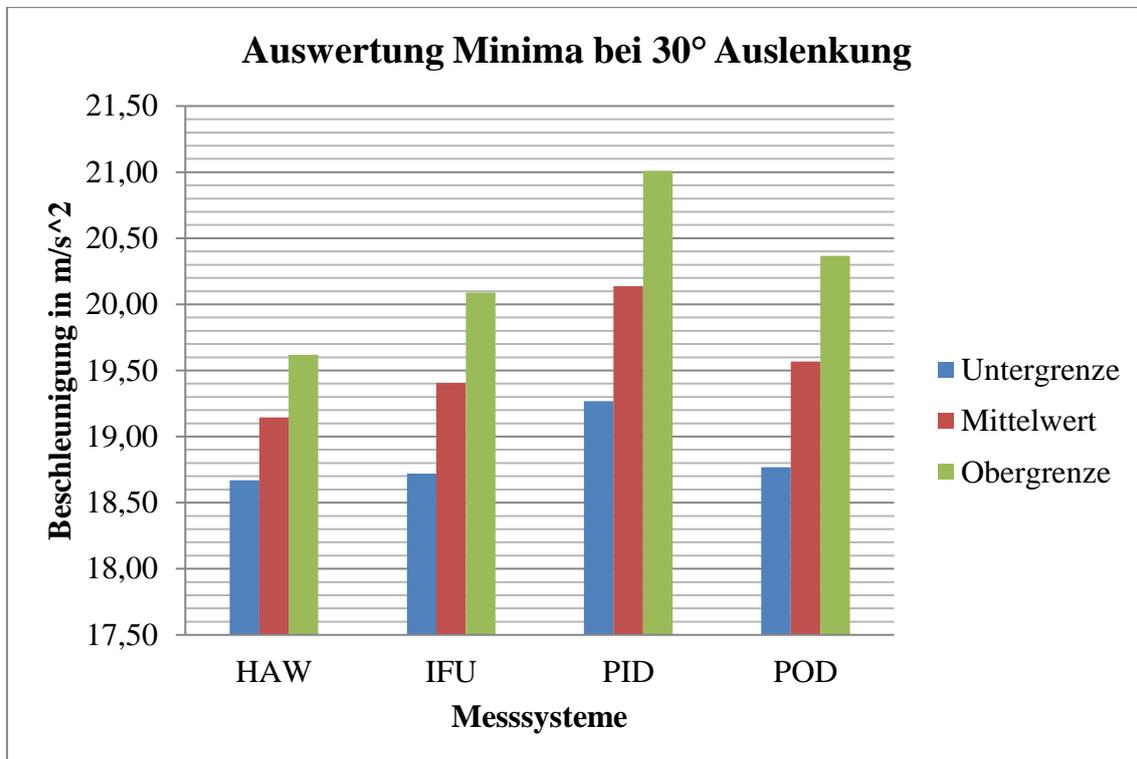


Abbildung 37 Auswertung der Minima bei 30° Auslenkung

Um die einzelnen Sensoren besser differenzieren zu können, wurden die Daten nach Einbaulage sortiert (s. Tabelle 3). Bei 0° und 180° hat jeweils der Sensor in X-Richtung gemessen und bei 90° und 270° jeweils der Sensor in Y-Richtung. Dabei zeigt sich, dass bei 0° zwei Messsysteme (IFU und PID) rd. 44,3 m/s² und die beiden anderen (HAW und POD) rd. 46,2 m/s² bzw. 46,3 m/s² gemessen haben. Sowohl IFU und PID als auch HAW und POD sind sich bei diesem Aufbau sehr ähnlich. Beim um 180° gedrehten Aufbau sind sich HAW, IFU und POD sehr ähnlich, einzig der PID weicht von den anderen ab. Dies zeigen auch die prozentualen Abweichungen der Messsysteme zu der IFU-Messbox.

Tabelle 3 Maxima Mittelwerte sortiert nach Winkel des Aufbaus bei 30° Auslenkung

Winkel Aufbau [°]	HAW [m/s ²]	IFU [m/s ²]	PID [m/s ²]	POD [m/s ²]	HAW Diff zu IFU [%]	PID Diff zu IFU [%]	POD Diff zu IFU [%]
0	46,16	44,28	44,27	46,31	4,24	-0,02	4,58
90	45,52	46,05	47,81	46,22	-1,15	3,81	0,38
180	46,42	46,46	44,92	46,21	-0,09	-3,32	-0,53
270	45,58	43,77	46,91	45,07	4,14	7,18	2,97

Als der Aufbau um 90° gedreht war, waren die IFU- und POD-Werte nahe beieinander. Der HAW-Wert liegt geringfügig darunter. Der PID-Wert weicht wieder nach oben ab. Beim um 270° gedrehten Aufbau sind keine Ähnlichkeiten feststellbar. Der unterste Wert liegt bei der IFU-Messbox bei 43,83 m/s² und der höchste beim PID mit 46,93 m/s². Die Werte des POD und der HAW liegen dazwischen bei 45,1 bzw. 45,63 m/s². Eine Tendenz ist nicht erkennbar. Aus der Auswertung der Maxima bei 30° Auslenkung ergibt sich, dass der PID die höchste Streuung aufweist mit 7,18% Abweichung. Ansonsten lässt sich kein Trend erkennen.

Bei den Minima fällt auf, dass der HAW-Wert bei den Y-Sensoren (90° und 270°) jeweils mit dem Wert der IFU-Messbox nahezu exakt übereinstimmt (s. Tabelle 4). Zudem lässt sich die Tendenz erkennen, dass bei den um 0° und 180° gedrehten Versuchen die Bremsbeschleunigung höher als bei den anderen beiden war. Außerdem ist ersichtlich, dass der PID wieder etwas höhere Beschleunigungen als die anderen Messsysteme anzeigt. Die Werte der IFU-Messbox liegen konsequent zwischen denen der HAW und des POD. Dies zeigen auch die prozentualen Abweichungen der Messsysteme zu der IFU-Messbox

Tabelle 4 Minima Mittelwerte sortiert nach Winkel des Aufbaus bei 30° Auslenkung

Winkel Aufbau [°]	HAW [m/s ²]	IFU [m/s ²]	PID [m/s ²]	POD [m/s ²]	HAW Diff zu IFU [%]	PID Diff zu IFU [%]	POD Diff zu IFU [%]
0	19,40	19,83	20,06	20,10	-2,16	1,15	1,39
90	18,88	18,88	20,86	19,04	-0,01	10,48	0,84
180	19,34	19,99	19,58	20,08	-3,21	-2,02	0,45
270	18,93	18,92	20,05	19,05	0,01	5,97	0,66

Insgesamt passen die IFU-Messwerte zu denen der HAW und des POD und unter Vorbehalt auch zu denen des PID. Die Größenordnung der gemessenen Daten des 6 G-Sensors der IFU-Messbox ist korrekt.

Von der IFU-Messbox sind nachfolgend die Daten des 50 G-Sensors bei den Versuchen mit 70° Auslenkung abgebildet (s. Abbildung 38). Dabei zeigt sich, dass die Standardabweichung der HAW-Daten wieder am geringsten ist. Die HAW- und die PID-Daten wurden jeweils vom gleichen Sensor wie beim Versuch mit 30° Auslenkung aufgezeichnet. Die Spannweite des PID ist wieder am größten. Standardabweichung der IFU-Daten und der POD-Daten ähneln sich. Im Vergleich zu dem Versuch mit 30° Auslenkung haben sich alle Standardabweichungen vergrößert und nahezu verdoppelt.

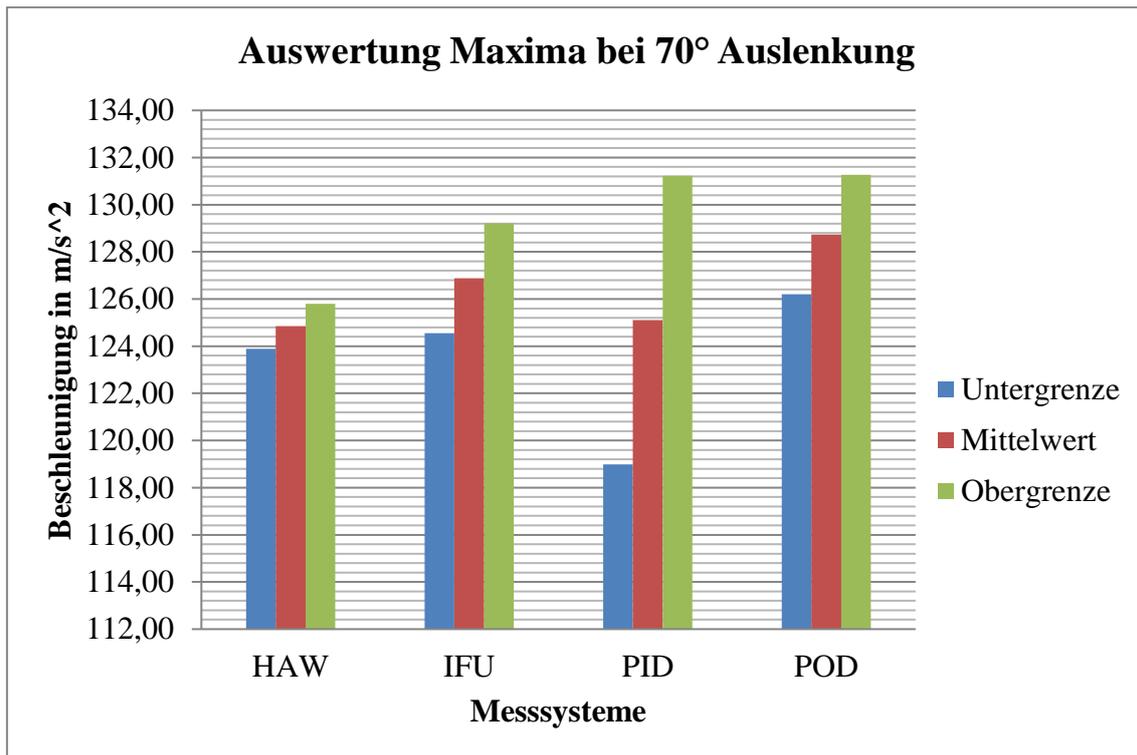


Abbildung 38 Auswertung der Maxima bei 70° Auslenkung

Die Mittelwerte weichen auch stärker voneinander ab. Die HAW-Daten liegen bei minimal 124,9 m/s² und die des POD bei 128,7. Die Werte der IFU-Messbox sowie des PID liegen dazwischen.

Bei den Minima fällt auf, dass die Spannweite der HAW wieder am geringsten ist (s. Abbildung 39). Aber auch der Mittelwert ist hier der niedrigste mit 30 m/s². Die Standardabweichung der IFU-Daten ist um das rd. 10-fache größer als die der HAW. Noch größer sind die des PID. Knapp noch größer ist die Abweichung des POD. Die Mittelwerte des PID und des PD liegen bei rd. 35 m/s². Der Mittelwert der IFU-Daten liegt bei 33 m/s².

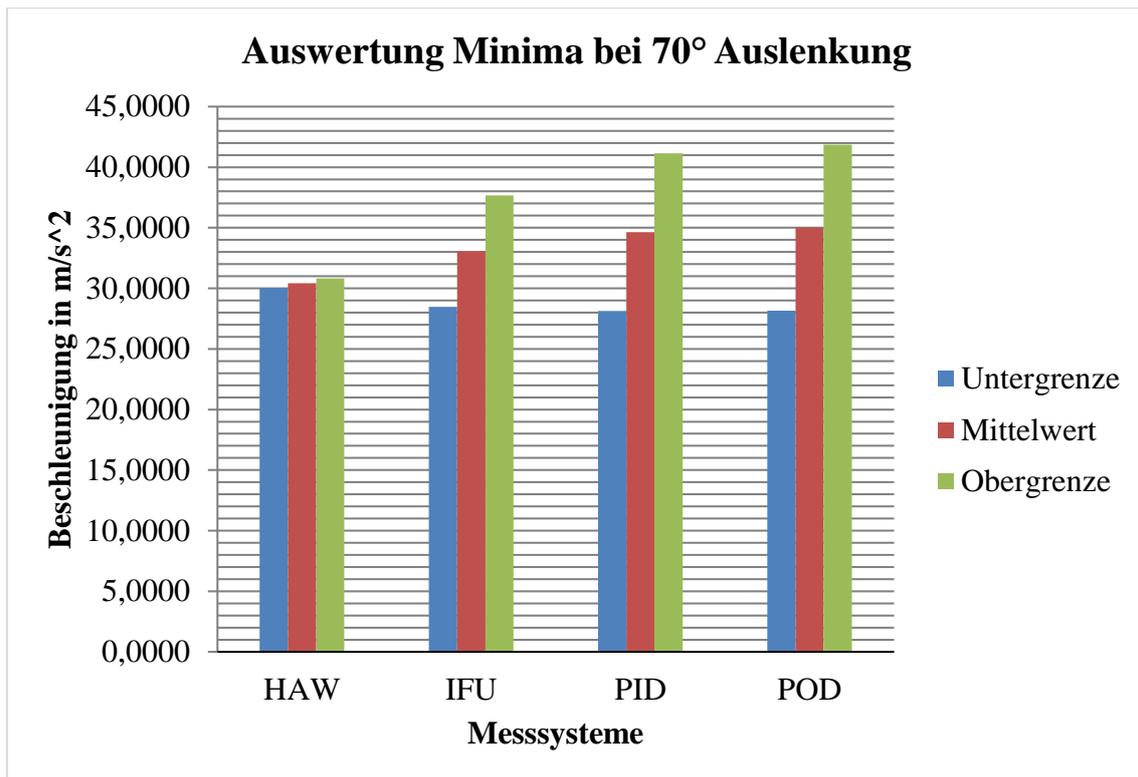


Abbildung 39 Auswertung der Minima bei 70° Auslenkung

Um auch hier die einzelnen Sensoren besser differenzieren zu können, wurden die Daten nach Einbaulage sortiert (s. Tabelle 5). Bei 0° und 180° hat jeweils der Sensor in X-Richtung gemessen und bei 90° und 270° jeweils der Sensor in Y-Richtung. Es zeigt sich, dass die Mittelwerte des HAW-Versuchsstandes dicht beieinanderliegen. Die Mittelwerte der IFU-Messbox zeigen mit Ausnahme des um 90° gedrehten Aufbaus auch sehr ähnliche Werte. Hier muss beachtet werden, dass die ersten sechs Versuche aus dieser Reihe von der HAW nicht aufgezeichnet wurden. Bei diesen sechs Versuchen lagen laut IFU-Messbox höhere Beschleunigungen vor, die den Mittelwert der IFU-Messbox also höher zeigen als den Wert der HAW. Auch die anderen Messsysteme zeigen an, dass bei dieser Versuchsreihe im Mittel die höchsten Beschleunigungen erreicht wurden. Die Mittelwerte der IFU-Messbox zeigen ähnliche Werte wie die des POD an, häufig mit rd. 1m/s² Unterschied. Wobei die IFU-Messbox die niedrigeren Werte aufweist. Die Werte des PID zeigen die größten Abweichungen von den jeweils anderen Messsystemen.

Tabelle 5 Maxima Mittelwerte sortiert nach Winkel des Aufbaus bei 70° Auslenkung

Winkel Aufbau [°]	HAW [m/s ²]	IFU [m/s ²]	PID [m/s ²]	POD [m/s ²]	HAW Diff zu IFU [%]	PID Diff zu IFU [%]	POD Diff zu IFU [%]
0	125,33	125,77	120,57	126,48	-0,35	-4,14	0,56
90	124,48	130,02	133,14	131,32	-4,26	2,40	1,00
180	124,87	126,36	118,41	128,71	-1,18	-6,29	1,86
270	124,32	125,31	128,31	128,45	-0,78	2,40	2,51

Bei den Bremsbeschleunigungen zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei den Vorwärtsbeschleunigungen (s. Tabelle 6). Auch hier sind die Mittelwerte der IFU-Messbox, des PID und des POD beim um 90° gedrehten Aufbau höher als die der HAW. Dies lässt ebenfalls mit den oben genannten Gründen erklären. Hier erscheinen die Werte des PID auch nicht zu hoch, lässt man den Mittelwert bei 270° außen vor. Die HAW-Werte liegen weiterhin nahe beieinander. Auch die Mittelwerte der-IFU-Messbox liegen wiederum immer knapp unter denen des POD. Dies zeigt sich auch bei der Betrachtung der prozentualen Abweichungen zu der IFU-Messbox.

Tabelle 6 Minima Mittelwerte sortiert nach Winkel des Aufbaus bei 70° Auslenkung

Winkel Aufbau [°]	HAW [m/s ²]	IFU [m/s ²]	PID [m/s ²]	POD [m/s ²]	HAW Diff zu IFU [%]	PID Diff zu IFU [%]	POD Diff zu IFU [%]
0	30,34	31,56	31,49	32,57	-3,86	-0,23	3,20
90	30,77	38,61	40,78	41,17	-20,31	5,62	6,64
180	30,37	30,67	30,07	31,89	-0,98	-1,96	3,98
270	30,43	31,17	36,21	34,41	-2,36	16,16	10,40

Insgesamt passen die IFU-Messwerte zu denen des POD und unter Vorbehalt auch zu denen des PID und zur HAW. Die Größenordnung der gemessenen Daten des 50 G-Sensors der IFU-Messbox ist korrekt. Dies zeigen auch die prozentualen Abweichungen der Messsysteme zu der IFU-Messbox.

Auch die Dauer einer Beschleunigung ist für die Rekonstruktion von Kollisionen von großer Bedeutung. Daher wird auch die Zeitdauer im Folgenden ausgewertet. Der gemessene Zeitraum wurde bereits oben erläutert.

Es werden zunächst die Zeiten der Versuchsreihe mit der 30° Auslenkung ausgewertet (s. Abbildung 40/Abbildung 36). Auf der Ordinate ist die Zeitdauer und auf der Abszisse die Messsysteme dargestellt. Für die einzelnen Messsysteme wurden die Mittelwerte sowie die Unter- und Obergrenze der ermittelten Zeit abgebildet.

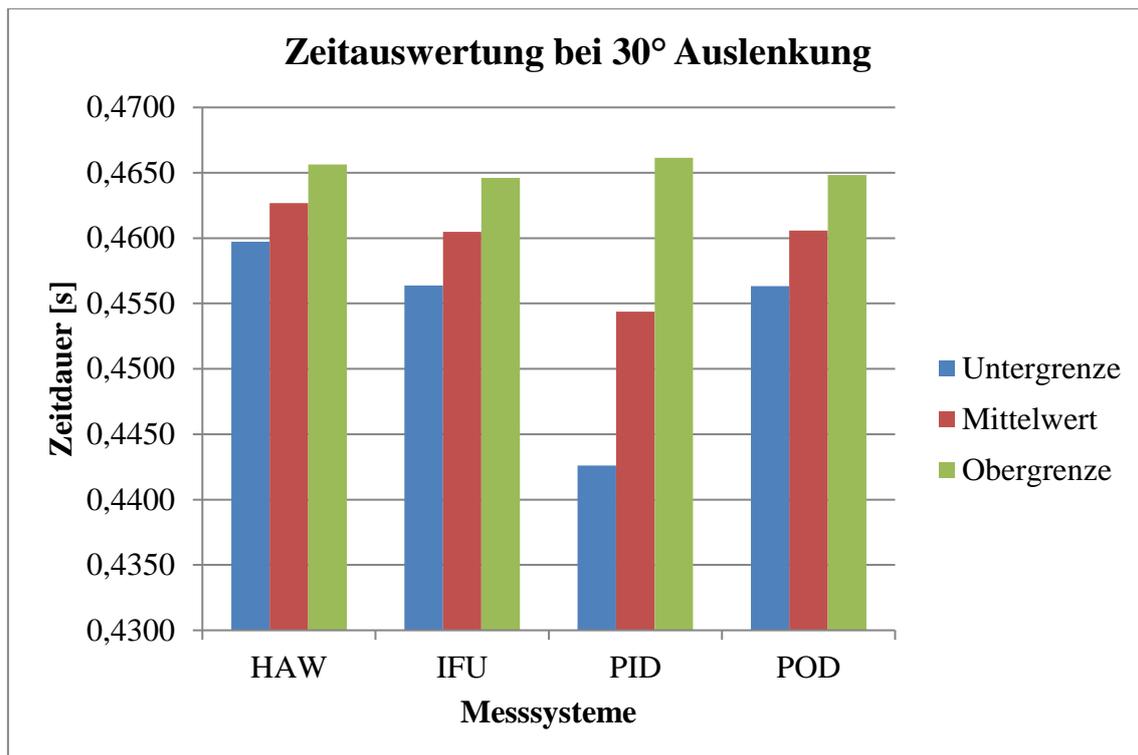


Abbildung 40 Zeitauswertung bei 30° Auslenkung

Auffällig ist, dass IFU und POD nahezu die gleiche Zeitdauer sowie die Unter- und Obergrenze aufweisen. Der HAW-Wert liegt leicht darüber. Diese drei Messsysteme zeigen eine Mittelwertzeit von knapp über 0,46 s an. Beim PID wurde eine Zeit etwa 0,005 s unterhalb von 0,46 s ermittelt. Zudem ist die Standardabweichung rd. drei Mal so groß wie beim POD oder der IFU-Messbox.

Die Zeitauswertung beim Versuch mit 70° Auslenkung zeigt Abbildung 41. Auch hier sind sich POD und IFU-Messbox sehr ähnlich. Die Zeitdauer des HAW-Versuchstandes liegt wie bei der Versuchsreihe mit 30° knapp darüber und die des PID darunter. Die Zeiten des POD und der IFU-Messbox liegen bei rd. 0,346 s. Die HAW-Messtechnik zeigt einen Wert von 0,348 s und der PID 0,343 s an. Der Abstand zwischen PID-Zeit

und IFU- bzw. POD-Zeit liegt bei 0,0032 s. Zwischen der HAW-Zeit und der IFU-Zeit liegen 0,0026 s. Vergleicht man dazu die Messraten, die beim PID bei 2000 Hz, beim POD bei 3125 Hz, bei der IFU-Messbox bei 5000 Hz und bei der HAW auch bei 2000 Hz lag, ergibt sich für den PID und die HAW eine Messwertaufnahme alle 0,0005 s, für den POD alle 0,00032 s und für die IFU-Messbox alle 0,0002 s. Sollte bei der Auswertung die Zeitpunkte um zwei Zeitwerte (jeweils bei der steigenden Flanke zu Beginn und dem ersten Nulldurchgang am Ende der Beschleunigung) daneben liegen, so hätte dies ausschließlich beim PID und der HAW einen Einfluss von 0,001 s auf die dritte signifikante Stelle nach dem Komma. Die Abweichungen können also durch Ablesen der Zeitwerte beeinflusst werden, jedoch wäre selbst nach dieser Betrachtung die gleiche Tendenz der Abweichungen vorhanden.

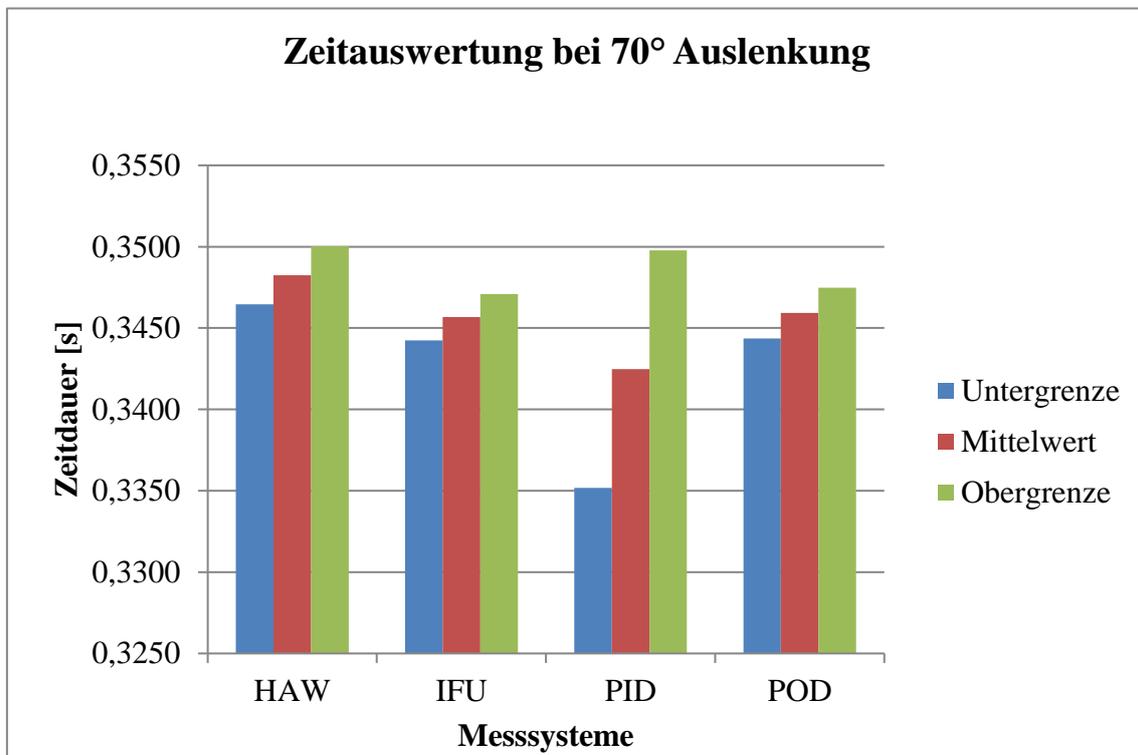


Abbildung 41 Zeitauswertung bei 70° Auslenkung

Die Standardabweichungen des POD, der IFU-Messbox und der HAW-Messtechnik befinden sich nahe beieinander. Die des PID ist etwa fünf Mal so groß wie die der IFU-Messbox.

Exemplarisch zeigt Tabelle 7 einmal die prozentualen Abweichungen der Zeitdauer von der IFU-Messbox bei den 70°-Versuchen. Die Abweichungen liegen unter 1%.

Tabelle 7 Prozentuale Abweichung der Zeitdauer

System	Zeitdauer	%-Abweichungen von IFU-Messbox
HAW	0,3482	0,74
IFU	0,3457	0,00
PID	0,3425	-0,93
POD	0,3459	0,07

Insgesamt zeigt sich, dass die Zeitdauer der IFU-Messbox bemerkenswert dicht an der Zeitdauer des POD liegt. Die HAW-Zeitdauer scheint grundsätzlich geringfügig über denen der IFU-Messbox und des POD liegen. Dies könnte daran liegen, dass der Sensor der HAW nicht an dem gleichen Ort montiert war, wie die übrigen Sensoren. Da der HAW-Sensor direkt mit dem Schlitten verbunden war und die anderen Messsysteme über den Geräteträger mit dem Schlitten verbunden waren, könnte dies eine geringe Diskrepanz der Zeitauswertung erklären. Der PID scheint regelmäßig nach unten abzuweichen. Die IFU-Messbox zeichnet die Zeitpunkte also korrekt auf.

Auswertung Rauschen

Für die Auswertung des Rauschens von den Sensoren der Messsysteme wurden die Werte der Gauß-Funktion analysiert. Hierzu wurden nur die ungefilterten Daten herangezogen. Für die Rauschbewertung ist von Bedeutung wie breit (width) die Glockenkurve ist. Die width-Werte des 30° Versuches und des 70° Versuches sind für die jeweiligen Messsysteme in Abbildung 42 dargestellt. Für die Auswertung des Rauschens beim Versuch mit 70° Auslenkung ist zu beachten, dass sowohl der Sensor des HAW-Versuchsstandes und der Sensor des PID bereits beim Versuch mit 30° Auslenkung ausgewertet wurden. Es wurden bei den Versuchsreihen also keine verschiedenen Sensoren benutzt. Die Werte des PID und der HAW sollten also ähnlich sein.

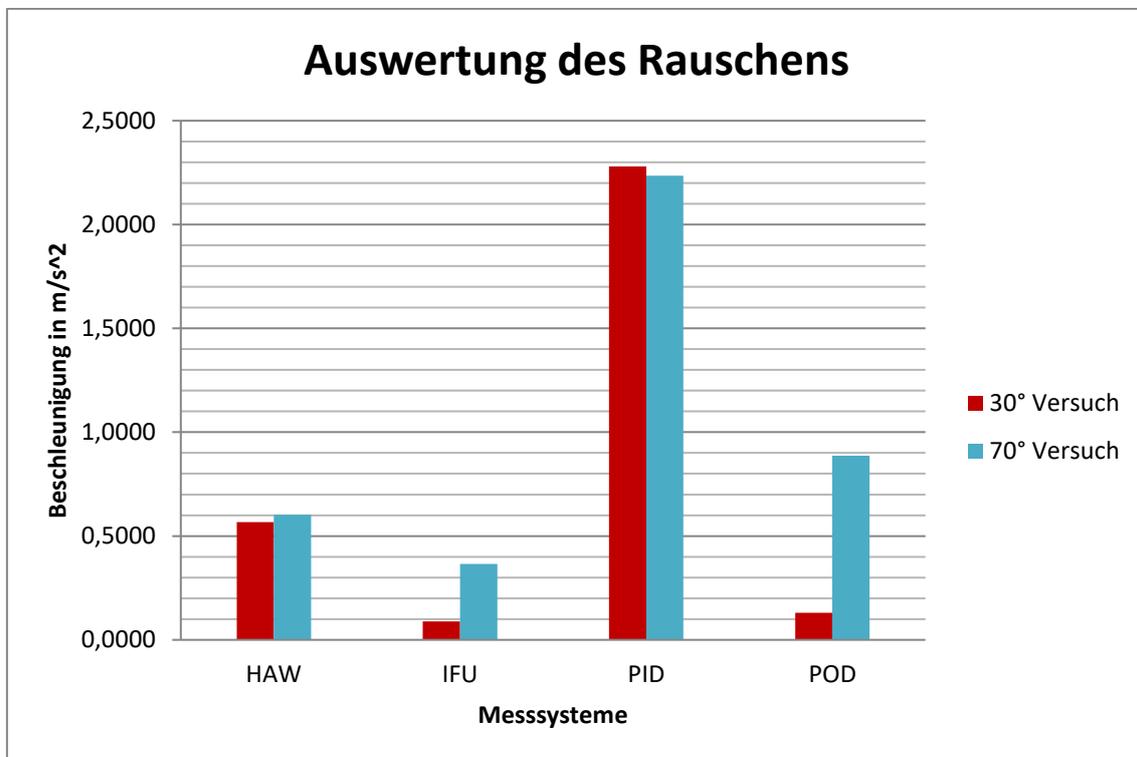


Abbildung 42 Auswertung Rauschen

Das HAW-Rauschen sowie das PID-Rauschen ist wie erwartet bei beiden Versuchsreihen sehr ähnlich. Die Werte de PID sind am höchsten. Das Rauschen des 6 G-Sensors der IFU-Messbox ist im Vergleich zu den anderen Systemen am geringsten. Auch der 50 G-Sensor der IFU-Messbox rauscht bei den 70° Versuchen am wenigsten. Das Rauschen des POD liegt jeweils über dem der IFU-Messbox.

Auswertung der externen Sensoren

Die Auswertung der externen Sensoren erfolgte oberflächlich, da die wirkenden Beschleunigungen in den Versuchen oberhalb des Arbeitsbereiches der Sensoren der IFU-Messbox waren (Abbildung 43).

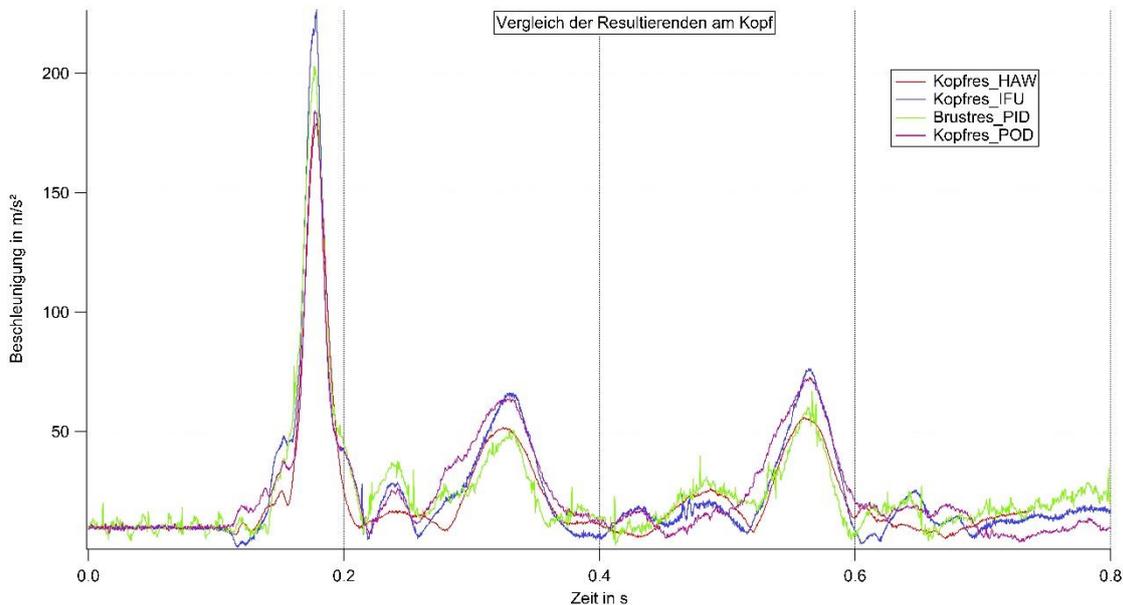


Abbildung 43 Vergleich der Resultierenden am Kopf

Die maximalen Beschleunigungen liegen in einem Bereich zwischen rd. $170 m/s^2$ und rd. $230 m/s^2$. Der Arbeitsbereich der externen Sensoren der IFU-Messbox erstreckt sich nur bis 16 G, also rd. $157 m/s^2$. Außerhalb dieses Bereich kann die Linearität des Sensors nicht gewährleistet werden. Eine Auswertung dieser Sensoren ist daher nicht sinnvoll. Der Verlauf der vier Graphen erscheint annähernd gleich. Zeitpunkte der Maxima und der Minima liegen nahezu übereinander.

Bei einigen Versuchen wurde festgestellt, dass beim POD nicht nachvollziehbare Werte aufgetreten sind (s. Abbildung 44). Der Graph des POD erreicht ein Maximum von $1000 m/s^2$. Die anderen Werte der Messsysteme liegen weit darunter.

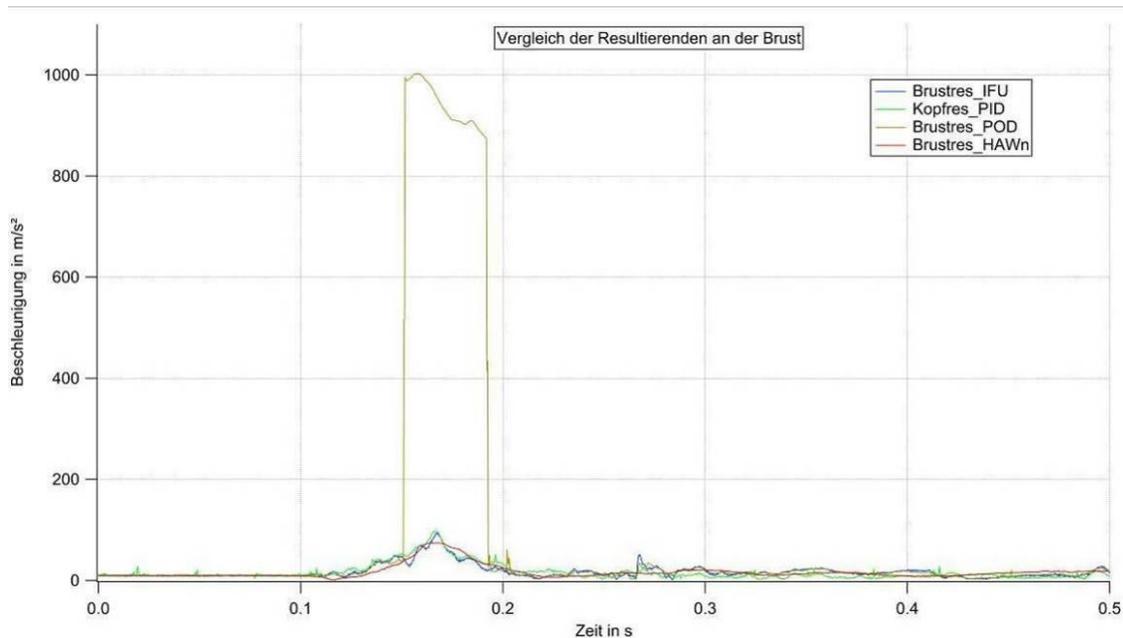


Abbildung 44 Vergleich der Resultierenden an der Brust

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die externen Sensoren der IFU-Messbox den gleichen Verlauf wie die anderen Messsysteme zeigen. Qualitative Aussagen zu den erreichten Maxima lassen sich nicht treffen, da die Beschleunigungen außerhalb des Arbeitsbereiches der externen IFU-Sensoren lagen.

Fahrversuche

Planung

Die Fahrversuche sollten einen typischen Fahrvorgang beinhalten. Zur Auswahl standen Kreisfahrt, Beschleunigen, Bremsen, Geradeausfahrt und Fahrspurwechsel. Da nur begrenzter Platz zur Verfügung stand und die Versuche nicht im öffentlichen Raum durchgeführt werden dürfen, wurde entschieden einen Versuch durchzuführen, bei dem das Fahrzeug zunächst anfährt und anschließend gebremst wird. Dieser Versuch sollte zehn Mal wiederholt werden. Für die Auswertung sollten u.a. die Messwerte des 1,7 G-Sensor der IFU-Messbox verwendet werden. Dabei ist keine Drehung des Aufbaus vorgesehen. Es sollten zusätzliche Sensoren, das Peiselerrad und die Ultraschallsensoren verwendet werden. Abbildung 45 zeigt eine Übersicht des Versuchsplatzes. Der Pfeil in Abbildung 45 zeigt die geplante Fahrrichtung an.



Abbildung 45 Übersicht Fahrversuch

Aufbau

Für die Fahrversuche wurde der Geräteträger in den Beifahrerfußraum einer Mercedes A-Klasse (Baureihe 168) gesetzt. Da die A-Klasse nicht beschädigt werden sollte, wurde der Geräteträger mittels Holzkeilen eingeklemmt. Bei den Fahrversuchen wurde die A-Klasse aus dem Stand beschleunigt und anschließend voll gebremst, daher musste diese Fixierung im Fahrzeug erfolgen. Zusätzlich waren an der A-Klasse noch ein Peiselerrad

(s. Abbildung 46) und hinten und vorne jeweils ein Ultraschallsensor montiert (s. Abbildung 47).



Abbildung 46 A-Klasse Rechtes Hinterrad mit Peiselerrad



Abbildung 47 A-Klasse Front mit Ultraschallsensor

Das Peiselerrad war mit der IFU-Messbox verbunden. Für die Auswertung des Peiselerades ist es wichtig, dass der Sensor nicht an einem angetriebenen Rad montiert wird, da der dort auftretende Schlupf⁴ das Messergebnis merklich beeinflussen würde. Die Mercedes A-Klasse verfügt über Vorderradantrieb, deswegen wurde das Peiselerrad auf dem Hinterrad montiert.

Bei den Fahrversuchen war eine weitere Messbox in der A-Klasse montiert, die DL1 von der Firma Race Technology. Die DL1 zeichnete zu den Beschleunigungen auch die Daten der Ultraschallsensoren auf. Zusätzlich wurde die DL1 mit einem GPS-Empfänger ausgestattet. Der Ultraschallsensor an der Front der A-Klasse ist mit einem Kennzeichen-

⁴ Schlupf ist das Verhältnis der Drehzahl eines angetriebenen Rades gegenüber dem eines mitlaufendem Rades.

Platzhalter fest verbunden. Der Kennzeichenplatzhalter wurde anstatt des Kennzeichens an der Front angebracht. Das Kabel wurde dann in den Innenraum geführt. Der Ultraschallsensor am Heck wurde mittels eines Gestänges und Saugnäpfen mit der A-Klasse verbunden. Zusätzlich wurde noch ein Sicherungsseil angebracht, damit, falls sich ein Saugnapf durch die Erschütterung lösen sollte, der Sensor nicht auf den Boden fällt.

Durchführung

Die Fahrversuche wurden am 12.10.2016 auf dem Gelände des IFU-Hamburg durchgeführt. Der Boden ist mit Pflastersteinen belegt. Die Versuchs-Fläche teilt sich in zwei zueinander schrägen Ebenen auf, die tangential ineinander übergehen. Die Fläche, auf der das Fahrzeug zum Stehen kommt ist nahezu eben ausgerichtet. Die Fläche, auf der das Fahrzeug startet ist in Fahrtrichtung nach links geneigt.

Zwei Videokameras dokumentierten den Versuchsablauf. Eine Kamera filmte von schräg vorne auf den Versuch. Die andere Kamera nahm von der Seite den Bremsvorgang auf. Die A-Klasse wurde soweit wie möglich nach hinten gefahren (s. Abbildung 45). Des Weiteren wurde die Aufzeichnung der Geräte gestartet. Anschließend wurde der Wagen beschleunigt und nach kurzer Zeit voll gebremst. Nach dem Stillstand des Fahrzeuges wurde die Bremse kurz gelöst, damit sich das Fahrzeug wieder in statische Normallage versetzt. Danach wurde die Aufzeichnung der Messsysteme beendet und das Fahrzeug wieder in die Startposition gefahren.

Für die Auswertung der Geschwindigkeit mit dem Peiselerrad wurde der Umfang des Hinterreifens benötigt. Dieser wurde mithilfe einer Schnur, die um das Hinterrad gewickelt und dann der Länge nach gemessen wurde, ermittelt. Sie beträgt in diesem Fall rd. 1,88 m.

Für die Aufzeichnung eines Fahrversuches eignet sich ein UDS üblicherweise nicht, da die Auslöseschwelle nicht überschritten wird. Damit der UDS bei diesen Fahrversuchen auslösen konnte, wurde die Auslöseschwelle manuell herabgesetzt.

Beobachtung

Grundsätzlich hat sich bemerkbar gemacht, dass sich trotz gleichem Startpunkt des Fahrzeuges immer ein anderer Endpunkt eingestellt hat. Es war also nicht möglich die Fahrversuche reproduzierbar durchzuführen. Zudem war der Lenkaufwand bei jedem Versuch

unterschiedlich. Bei einem Versuch musste das Fahrzeug aktiv wieder in die richtige Fahrspur gelenkt werden.

Weiterhin hat sich durch die Bremsung ein Nickwinkel eingestellt. Durch das Lösen der Bremse nach dem Stillstand federte die eingenicke Front wieder aus und das angehobene Heck wieder ein.

Auswertung

Da keine reproduzierbaren Versuche durchgeführt werden konnten, wird im Folgenden exemplarisch der Fahrversuch 1 ausgewertet. Die Daten wurden entsprechend Abbildung 48ff aufbereitet. Die Auswertung der Fahrversuche (FV) erfolgte mit dem IFU-Programm für die IFU-Messbox, mit dem PocketDAQ Analyzer für den PocketDAQ und PICDAQ und der Race-Technology-Analysis-Software für die DL1.

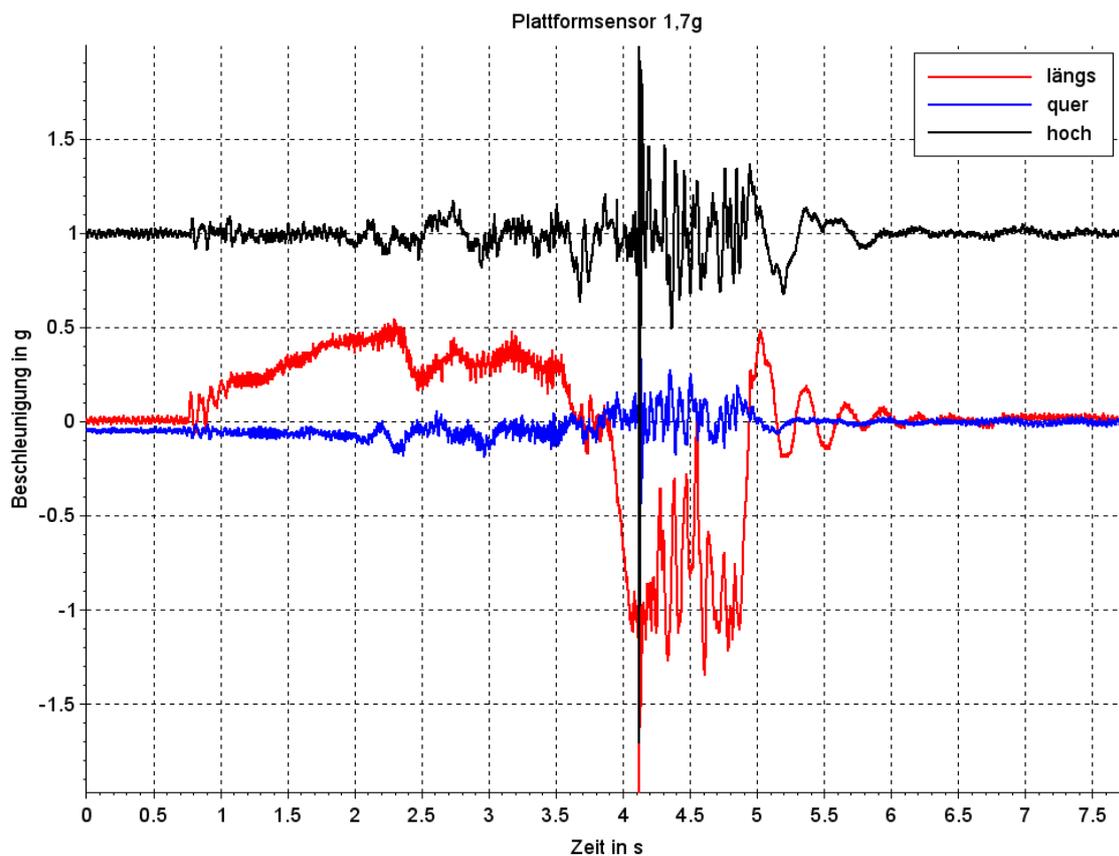


Abbildung 48 Fahrversuch 1 Beschleunigung IFU

Die Beschleunigungswerte in X-Richtung in Abbildung 48 zeigen zunächst einen positiven Anstieg auf 0,5 G an. Das Fahrzeug wird hier nach vorne beschleunigt. Knapp vor

Sekunde vier fällt die Beschleunigung ins Negative bis rd. -1 G; hier beginnt der Bremsvorgang. Nach der maximalen Bremsverzögerung erreicht wurde, schwingt der Graph um die Nulllinie bis der Graph wieder bei nahezu null verläuft.

Bei der Beschleunigung in Y-Richtung ist zu Beginn der Messung eine Abweichung von der Nulllinie zu erkennen. Ab Sekunde zwei treten leichte Beschleunigungen auf, die beim Bremsvorgang sich verstärken und anschließend abebben. Zum Ende der Messung verbleibt der Graph auf der Nulllinie.

Der anfängliche Offset in Y-Richtung lässt durch den nicht gleichmäßigen Versuchsplatz erklären. Zu Beginn der Fahrt steht die A-Klasse gering nach links geneigt auf einer leicht schiefen Ebene. Der dadurch auftretende Offset in Y-Richtung korrigiert sich selbst dadurch, dass im weiteren Verlauf das Fahrzeug auf eine ebene Fläche fährt und dort zum Stillstand kommt. Da das Fahrzeug nun auf ebenem Untergrund steht, verbleibt eine konstante Beschleunigung von 0 G in Y-Richtung.

Der PID und der POD zeigen ähnliche Werte an. Die DL1-Daten weisen einen nahezu identischen Verlauf auf (Abbildung 49). Zu beachten ist bei den Graphen, dass es für jeden Graphen eine eigene Ordinate mit einer eigenen Skala gibt. Daher erscheint die Abweichung in Y-Richtung bei der DL1 auch größer als bei den IFU-Daten. Außerdem wurde der Offset bei den DL1-Daten zu Anfang auf null gesetzt. Dadurch ergibt sich am Ende des Versuches eine konstante Abweichung von der Nulllinie. Bei den IFU-Daten ist es andersherum. Die Differenz zwischen Nulllinie und konstanter Abweichung ist jedoch bei den beiden Messsystemen nahezu gleich.

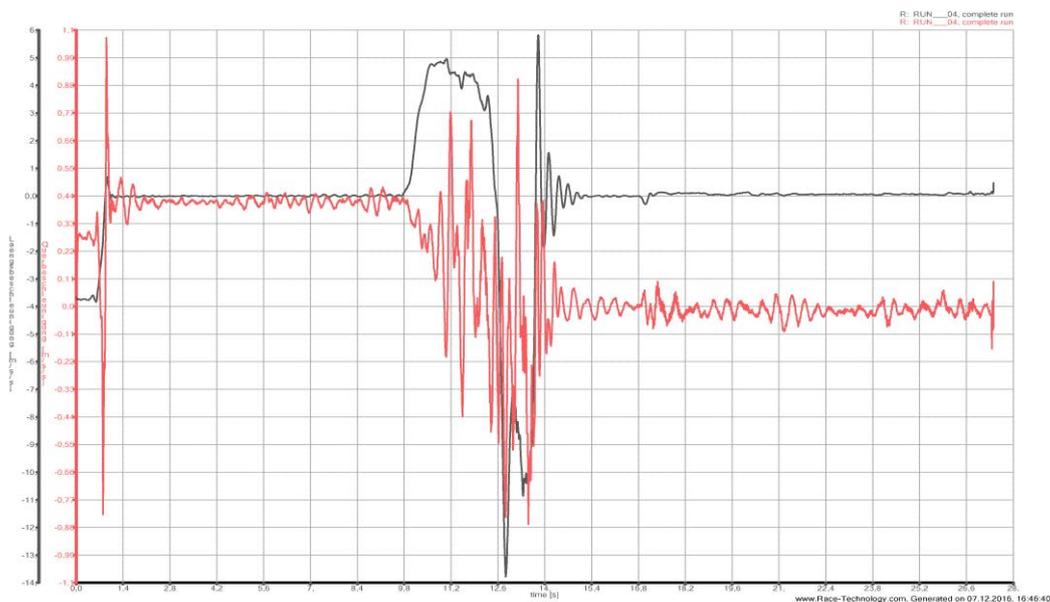


Abbildung 49 FV 1 Beschleunigung DL1

Die Auswertung der UDS-Daten ergab folgende Abbildung. Der UDS wurde also durch das Fahrmanöver ausgelöst. Es zeigt sich jedoch, dass auch diese Daten nicht mit denen der anderen Messsysteme vergleichbar sind. Die maximale Beschleunigung liegt bei $2,2 \text{ m/s}^2$ und die minimale bei $-4,5 \text{ m/s}^2$. Bei den anderen Versuchen waren es maximal rd. 5 m/s^2 und -10 m/s^2 . Auch der übliche Aufzeichnungszeitraum von 45 s ist nicht vorhanden. Die UDS-Daten können also auch bei diesen Versuchen nicht ausgewertet werden. Mögliche Gründe dafür wurden bereits bei der Auswertung der Laborversuche genannt.

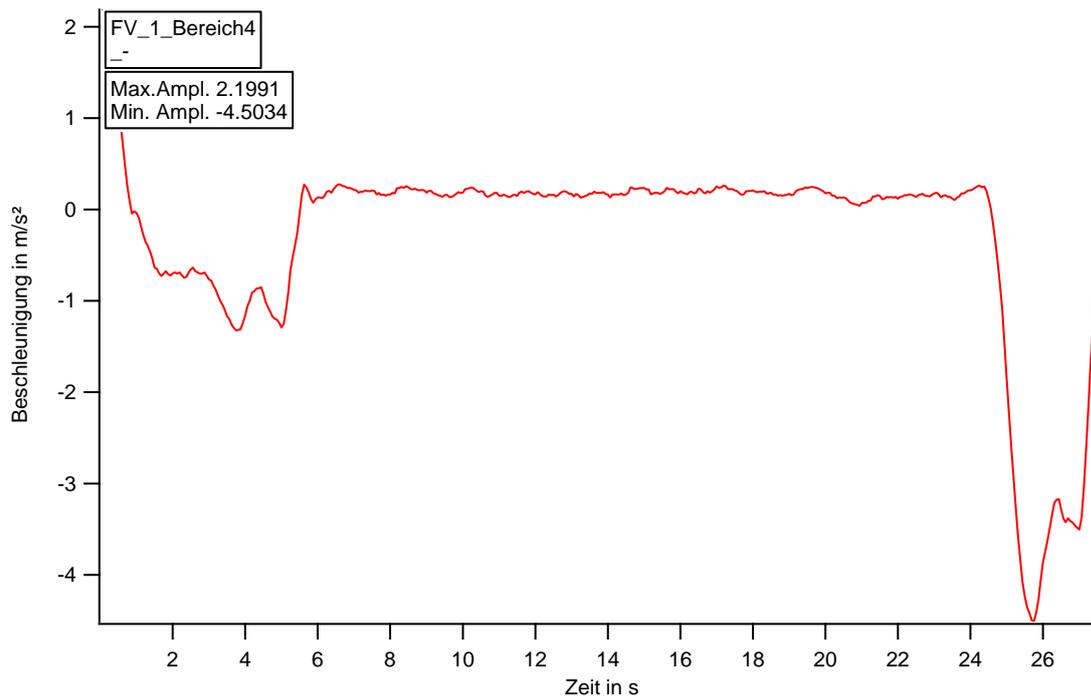


Abbildung 50 FV1 Beschleunigung UDS

Weiterhin wurden für diese Versuche auch die Geschwindigkeit betrachtet. Die Geschwindigkeit kann auf zwei verschiedene Arten ermittelt werden: Über das Peiselerrad und über die Integration der Beschleunigung. In Abbildung 51 sind die Graphen beider Varianten gegenübergestellt. Zusätzlich ist in der Abbildung die zurückgelegte Strecke dargestellt.

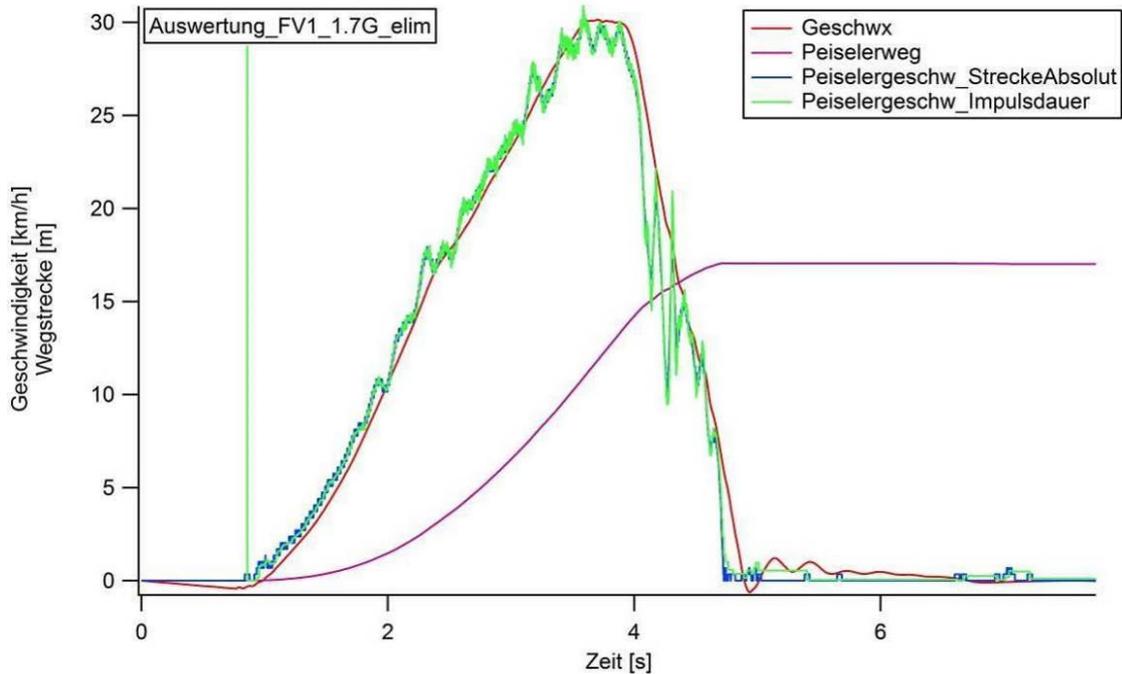


Abbildung 51 FV 1 Geschwindigkeit IFU

Die maximale ermittelte Geschwindigkeit beträgt rd. 30 km/h. Sowohl die Integration der Beschleunigung als auch die Peisellerrad-Auswertung ergeben diesen Wert. Die zurückgelegte Strecke liegt bei rd. 17 m nach Auswertung des Peisellerrades.

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse des FV 1 zusammengefasst. Die Erfassung dieser Werte erfolgte durch Ablesen aus den Diagrammen. Die Nickwinkel-Differenz ist die Summe aus dem Nickwinkel beim Anfahren und dem Nickwinkel beim Bremsen. Kein Messsystem zeigt nennenswerte Abweichungen von den anderen.

Tabelle 8 Ergebnisse FV 1

FV 1	IFU	POD	PID
Beschl in x in m/s ²	0,5	0,5	0,5
Nickwinkel Differenz in °	3,9	3,4	4,5
Strecke in m	17	16,5	15,5
Geschwindigkeit in km/h	30	28	28

Das Rauschen des 1,7 G-Sensors der IFU-Messbox wurde wie bei den Laborversuchen mit Hilfe eines Histogramms und einer angenäherten Gaußschen-Glockenkurve dargestellt. Auch hier ist das Kriterium für die Rauschbreite der width-Wert. Er liegt bei 0,015 und damit unter dem width-Wert des 100 Hz gefilterten 6 G-Sensors der IFU-Messbox.

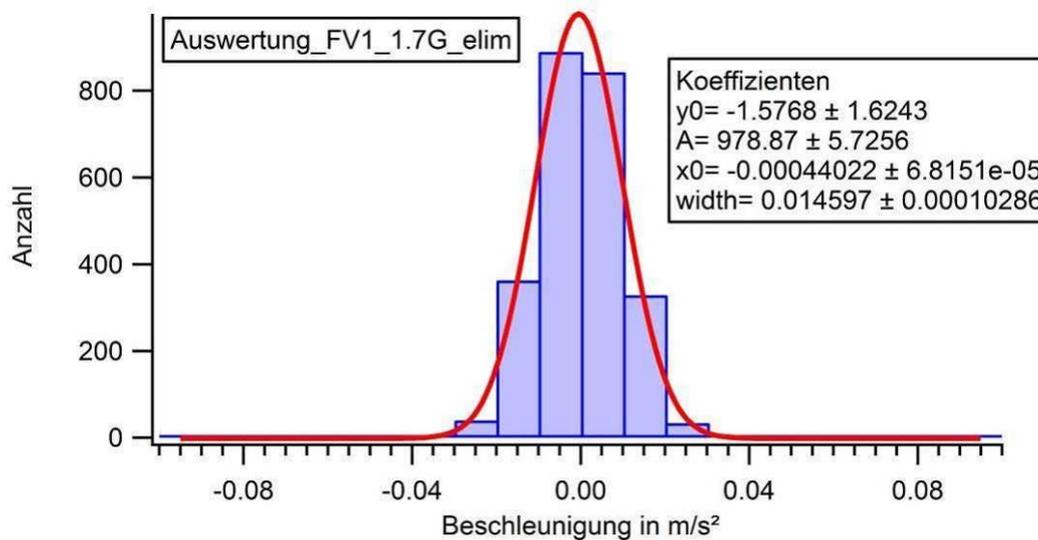


Abbildung 52 Histogramm 1,7 G Ausreißer-eliminiert

Da keine reproduzierbaren Versuche durchgeführt werden konnten, wurde auf eine statistische Analyse des Rauschens vom 1,7 G-Sensor der IFU-Messbox verzichtet.

Um die oben aufgeführte Nickwinkel-Differenz zu verifizieren, werden die Daten der Ultraschallsensoren herangezogen. Auf der nachfolgenden Seite sind die Messergebnisse der Ultraschallsensoren am Heck und an der Front dargestellt. Der FV 1 ist als schwarzer Graph mit den Namen „run04“ dargestellt. Die A-Klasse hat beim Beschleunigen und anschließenden Bremsen an der Front einen vertikalen Weg von 130,4 mm und am Heck von 129,2 mm zurückgelegt. Das ergibt in der Summe 295,6 mm. Da die A-Klasse 3575 mm lang ist, ergibt sich mit dem Arcus-Tangens eine Nickwinkel-Differenz vom Maximum beim Anfahren bis zum Maximum beim Bremsen von $4,15^\circ$. Um diesen Sachverhalt darzustellen wurde eine Skizze angefertigt (s. Abbildung 55).

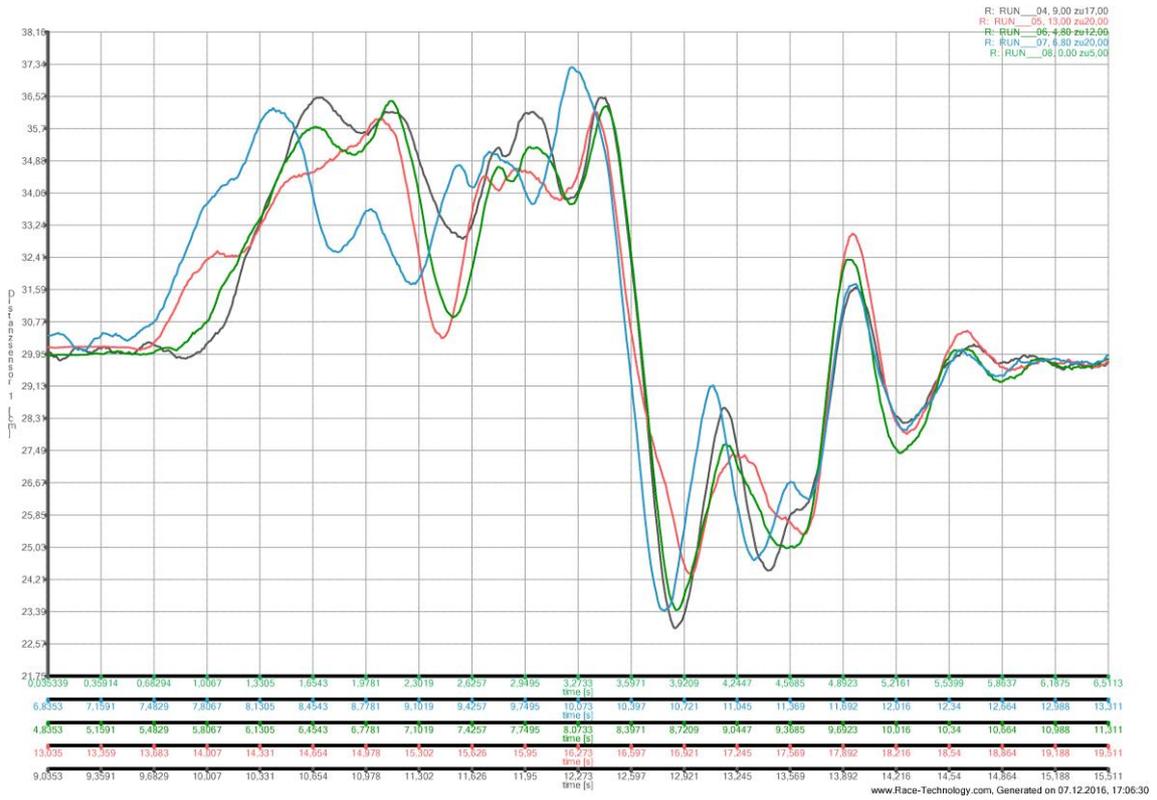


Abbildung 53 Ultraschallsensor Front

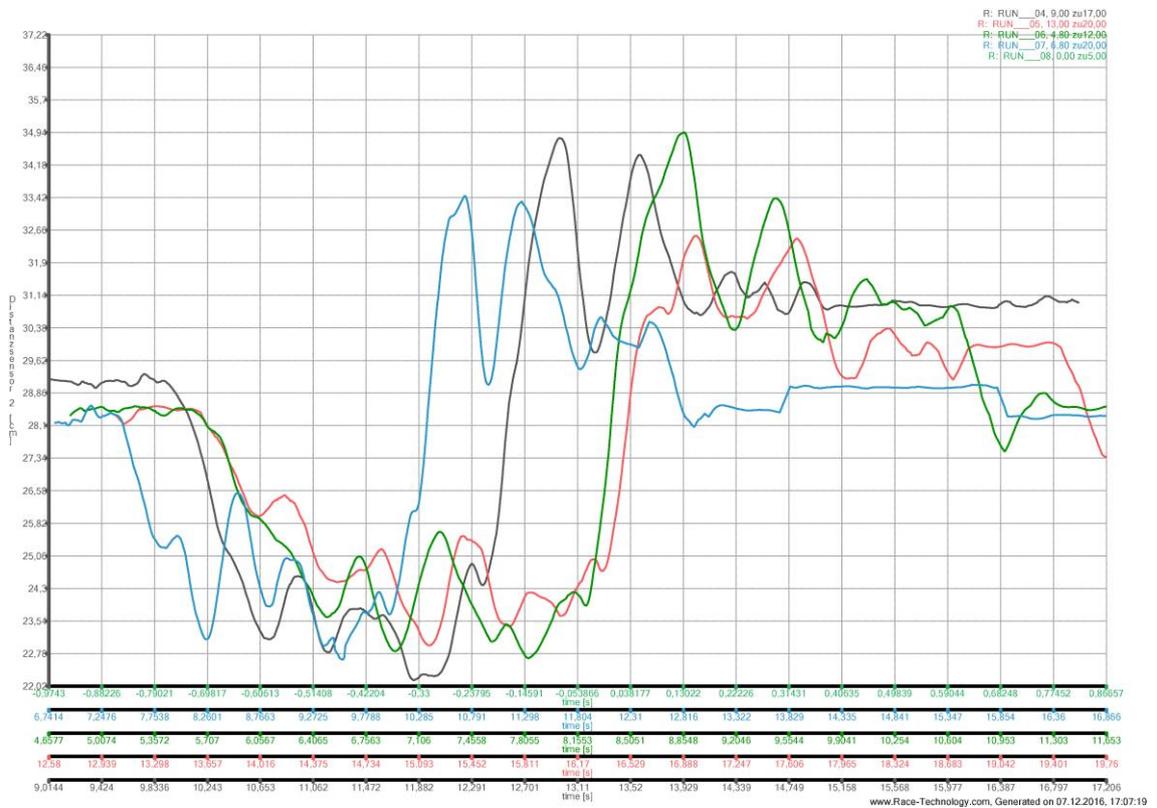


Abbildung 54 Ultraschallsensor Heck

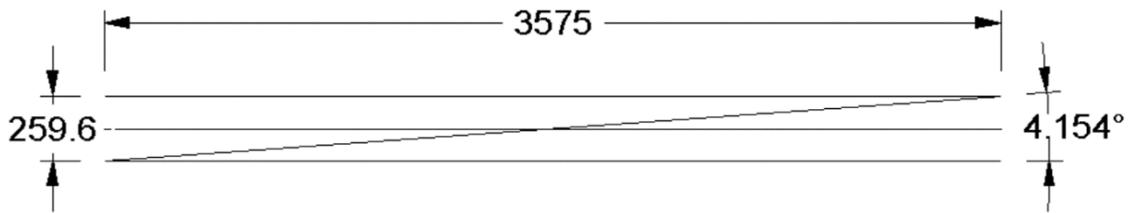


Abbildung 55 Skizze Nickwinkel-Differenz

Die einzelnen Maxima der Ultraschallsensoren sowie die Berechnungen sind in der untenstehenden Tabelle zusammengefasst. Die Nickwinkel-Differenz der IFU-Messbox lag bei 3,9°. Die Messergebnisse der IFU-Messbox sind mit denen der Ultraschallsensoren vereinbar.

Tabelle 9 Berechnungen Nickwinkel-Differenz

A1	B1	C1	D1	E1	E2	G2
A2	Länge A-Klasse [mm]		front	front	heck	heck
A3	3575		dsi1 [cm]	dsi1 [mm]	dis2 [cm]	dis2 [mm]
A4		Max	36,52	365,2	22,02	220,2
A5		Min	23,48	234,8	34,94	349,4
A6		Differenz	13,04	130,4	12,92	129,2
A7						
A8						
A9		Gesamt Diff. [mm]	259,6	(diff dsi1+ diff dsi 2)		
A10		Arctan (D9/B3) [°]	4,15			

Kollisionsversuche (KV)

Allgemein

Bei den Kollisionsversuchen sollte sich die IFU-Messbox bei realen Fahrzeugkollision bewähren. Es wurden zwei unterschiedliche Unfallarten ausgewählt: eine Auffahrkollision, wie sie z.B. vor einer roten Ampel gesehen kann, und eine streifende Kollision, wie z.B. bei einem missglückten Ausparkmanöver.

Bei den Kollisionsversuchen wurden Fahrzeuge verwendet, die einen geringen Wert haben, sog. Schrott-Autos. Bei diesen Fahrzeugen wurde der Geräteträger fest im Beifahrerfußraum montiert. Dazu wurde die Trägerplatte mit Schrauben mit dem Bodenblech verbunden. Die Ausrichtung der X-Achse des Geräteträgers erfolgte parallel zur Fahrzeuglängsachse.

Planung KV 1

Bei der Auffahrkollision (KV 1) sollte ein Renault Twingo vorwärts, längsachsenparallel und gering nach links versetzt auf das Heck eines stehenden Audi 80 auffahren (s. Abbildung 56). Die Aufprallgeschwindigkeit sollte bei 13 km/h liegen. Der Renault sollte zunächst mit der Frontstoßfängerverkleidung gegen die Heckstoßfängerverkleidung des Audi stoßen.



Abbildung 56 KV 1 Übersicht

Aufbau KV 1

Zunächst wurden Fahrzeuge in ihrer Anstoßkonfiguration zusammengestellt (s. Abbildung 57). Dann wurde der Geräteträger im Audi und die DL1 im Renault installiert. Um bei dem Versuch die Fahrzeuge in der Anstoßkonfiguration kollidieren zu lassen, wurde für den Fahrer eine Zieleinrichtung eingerichtet. Dazu wurde ein Leitkegel auf der Motorhaube des Renault und auf dem Audi ein Klebestreifen fixiert. Über diese beiden Hilfsmittel sollte der Fahrer gemäß dem Prinzip „Zielen über Kimme und Korn“ die Anstoßkonfiguration erreichen.

Im Audi saß ein Proband. Die externen Sensoren des PID, des POD und der IFU-Messbox waren am Kopf und an der Brust des Probanden angebracht, ähnlich wie am Dummy bei den Laborversuchen. Am linken Hinterrad des Renault ist das Peiselerrad montiert. Die Daten werden von der DL1 erfasst.

Zur Dokumentation wurden mehrere Videokameras aufgestellt. Darunter befand sich eine Hochgeschwindigkeitskamera, die die Kontaktzone gefilmt hat.



Abbildung 57 KV 1 Anstoßzone

Durchführung KV 1

Bei diesem Versuch wurde ich von zwei Mitarbeitern des IFU-Hamburg unterstützt. Herr Senatli fuhr den Twingo und Herr Manig stellte sich als Proband für den Audi zur Verfügung. Die Durchführung erfolgte auf dem Gelände eines örtlichen Autoverwerfers. Dort wurden Markierungen auf dem Boden aufgebracht.

Zunächst wurden Fahrzeuge einzeln und in der Anstoßkonfiguration fotografiert. Der Renault wurde sodann von Herrn Senatli zurückgesetzt. Die Messtechnik sowie die Kameras wurden gestartet. Daraufhin fuhr Herr Senatli mit dem Renault auf das Heck des stehenden Audi auf. Die Geschwindigkeit des Renault lag bei rd. 13,3 km/h. Der Audi wurde nach vorne beschleunigt und nach kurzer Zeit bis zum Stillstand abgebremst.

Nachdem feststand, dass sich niemand verletzt hatte, wurde die Aufnahme der Messtechnik der Videokameras beendet. Die Endpositionen der Fahrzeuge wurden markiert. Anschließend wurden die Fahrzeuge erneut fotografiert, im Besonderen wurden die Schäden dokumentiert.

Beobachtung KV 1

Der Renault hat den Audi nach vorne gestoßen, danach haben sich die Fahrzeuge für eine kurze Zeit zusammen vorwärtsbewegt. Der Renault kam durch die Bremsung zuerst zum Stehen, sodass sich die Fahrzeuge wieder getrennt haben (s. Abbildung 58). Nach der Kollision wurde festgestellt, dass der POD die Kollision nicht aufgezeichnet hat.



Abbildung 58 KV 1 Endstellung

Auswertung KV 1

Bei Kollisionsversuchen besteht in der Regel nur eine Möglichkeit, um den Versuch wie geplant durchzuführen, da die Fahrzeuge nach dem Versuch zumindest teilweise zerstört sind. Für weitere Versuche werden dann weitere baugleiche Fahrzeuge benötigt. Angesichts dieses großen materiellen Aufwandes kann im Rahmen dieser Arbeit keine statistische Auswertung der Messdaten erfolgen.

Die Daten des UDS wurden ausgewertet und graphisch dargestellt (s. Abbildung 59). Da der UDS um 90° verdreht montiert war, wirken die Beschleunigung a_{laengs} in Y-Richtung und die Beschleunigung a_{quer} in X-Richtung. Das Minimum liegt zwischen 30 und 35 m/s^2 . Es ist absolut gesehen, die höchste wirkende Beschleunigung, die vom UDS - Aufgezeichnet wurde.

Die Aufzeichnungszeit des UDS liegt bei rd. 45 s. Dieser Zeitraum wird üblicherweise von einem UDS aufgezeichnet, wenn dieser ein Ereignis festgestellt hat. Ab Sekunde 31 bis zu Sekunde 32,5 ist die Bremsung des Audi zu erkennen, da sich die Beschleunigungskurve leicht anhebt. Der Audi rollte nach dem Anstoß also rd. 3 s. Diese Erkenntnis passt zu dem beobachteten Versuchsablauf.

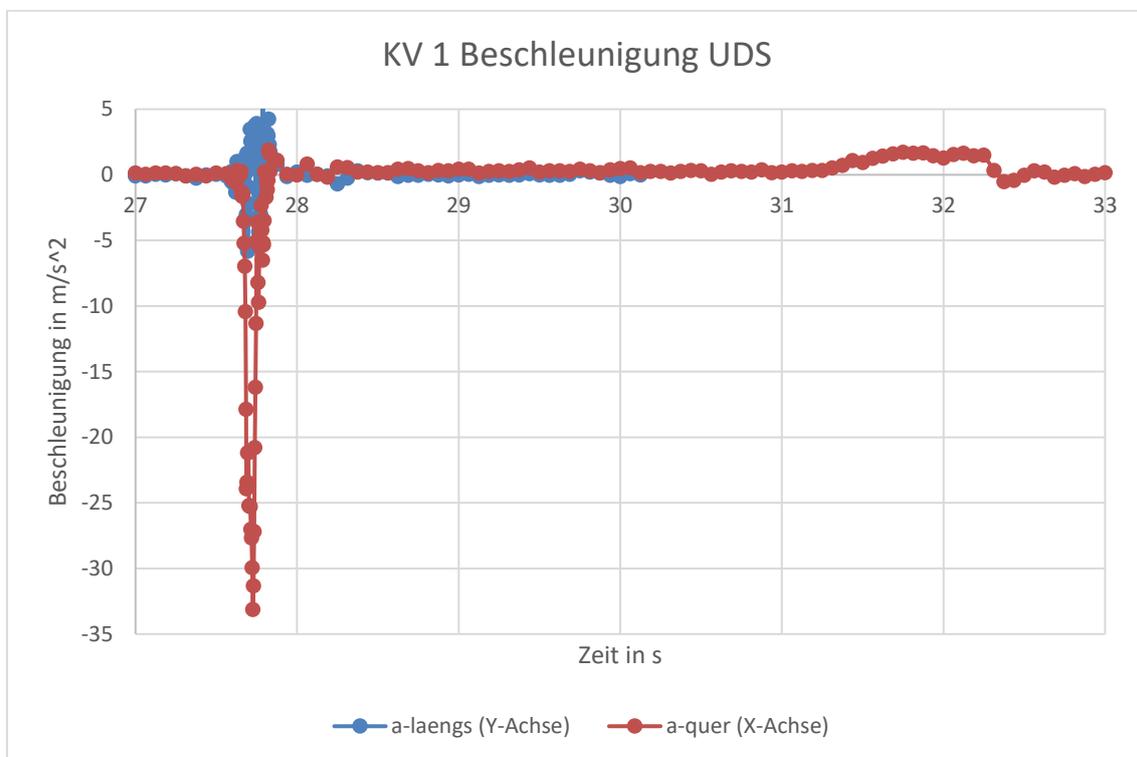


Abbildung 59 KV 1 ungefilterter Beschleunungsverlauf vom UDS – Übersicht

Die Abbildung 60 zeigt den Beschleunigungsverlauf anhand der UDS-Daten beim Anstoß detaillierter. Zudem wurden die einzelnen Messpunkte dargestellt. Die Beschleunigung nimmt zunächst ab. Bei Sekunde 27,7 bildet sich eine Art Stufe. Danach fällt die Beschleunigung bis zum Minimum. Nachdem das Minimum erreicht wurde, nimmt die Steigung zunächst rasch zu. Ab rd. 10 m/s^2 schwingt die Beschleunigung. Es kommt zu einem Überschwingen über die Nulllinie bis sich der Graph der Nulllinie wieder annähert.

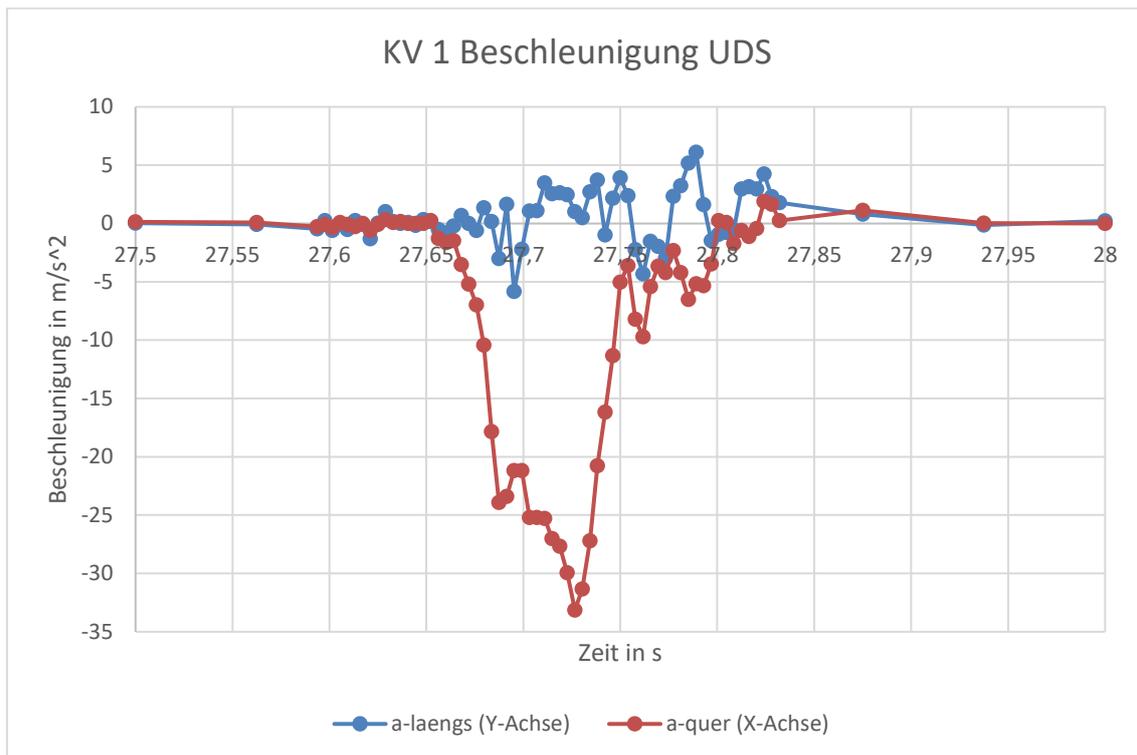


Abbildung 60 KV 1 ungefilterter Beschleunigungsverlauf vom UDS – Anstoß

In der folgenden Ansicht ist der Beschleunigungsverlauf des 6 G-Sensor der IFU-Messbox dargestellt (s. Abbildung 61). Bei den Daten sind die Ausreißer eliminiert. Das Maximum liegt bei 3,3 G, das entspricht rd. $32,4 \text{ m/s}^2$. Im Vergleich zu den UDS-Daten verläuft der Graph gespiegelt an der X-Achse.

Auch bei dem detaillierten Beschleunigungsverlauf der IFU-Messbox zeigt nach dem Anstieg eine Stufe auf, bis die Beschleunigung das Maximum erreicht (s. Abbildung 62). Das Maximum wird durch deutliche Schwingungen überdeckt. Die Schwingungen waren beim UDS nicht ersichtlich. Nachdem das Maximum erreicht wurde, fällt der Graph bis auf 1 G und beginnt Schwingungen aufzuweisen. Der Verlauf der IFU-Messbox ähnelt dem Verlauf des UDS bis auf die Darstellung des Maximums.

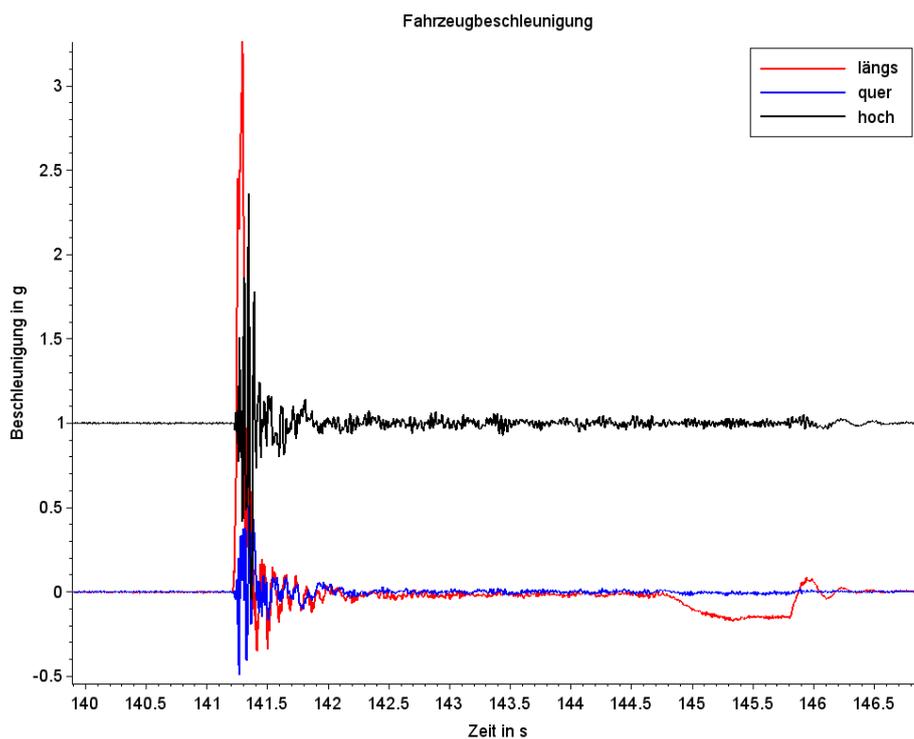


Abbildung 61 KV 1 Ausreißer eliminierter Beschleunigungsverlauf von der IFU-Messbox – Übersicht

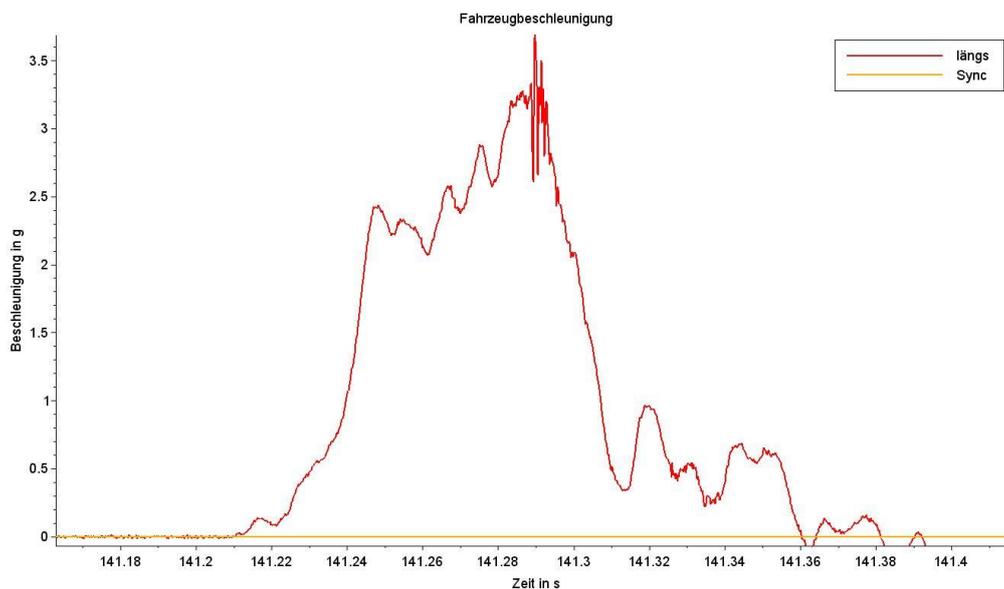


Abbildung 62 KV 1 Ausreißer eliminierter Beschleunigungsverlauf von der IFU-Messbox - Anstoß

Die Auswertung der externen Sensoren der IFU-Messbox zeigt, dass die maximale Kopfbeschleunigung bei rd. 4,4 G und die der Brust bei 4,3 G lag (s. Abbildung 63 und Abbildung 64). Damit befindet sich die maximale Beschleunigung innerhalb des Arbeitsbereiches des externen 16 G-Sensors.

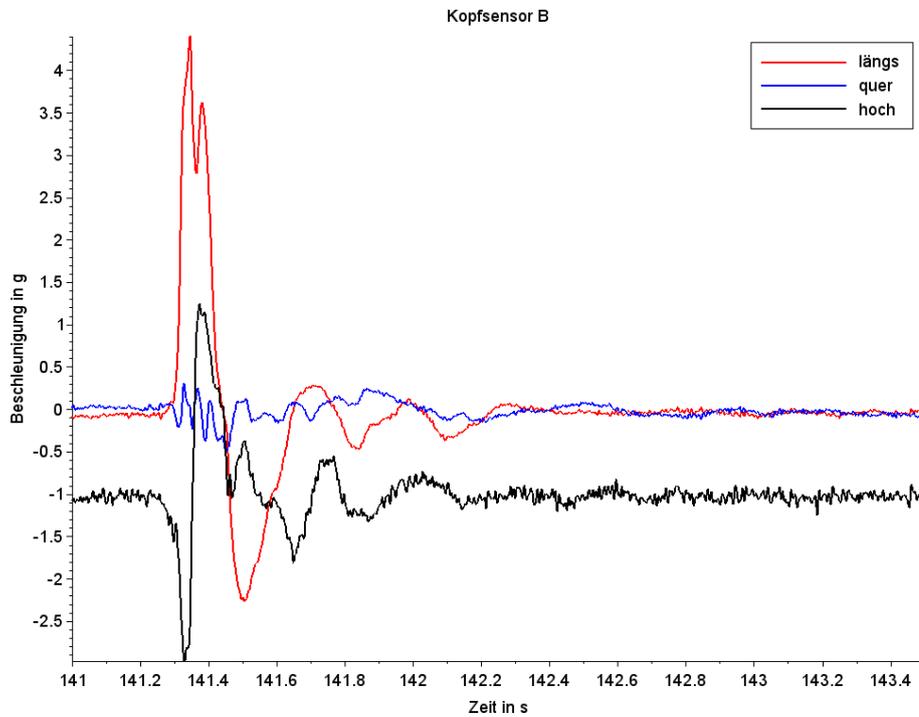


Abbildung 63 KV 1 Beschleunigung von der IFU-Messbox am Kopf

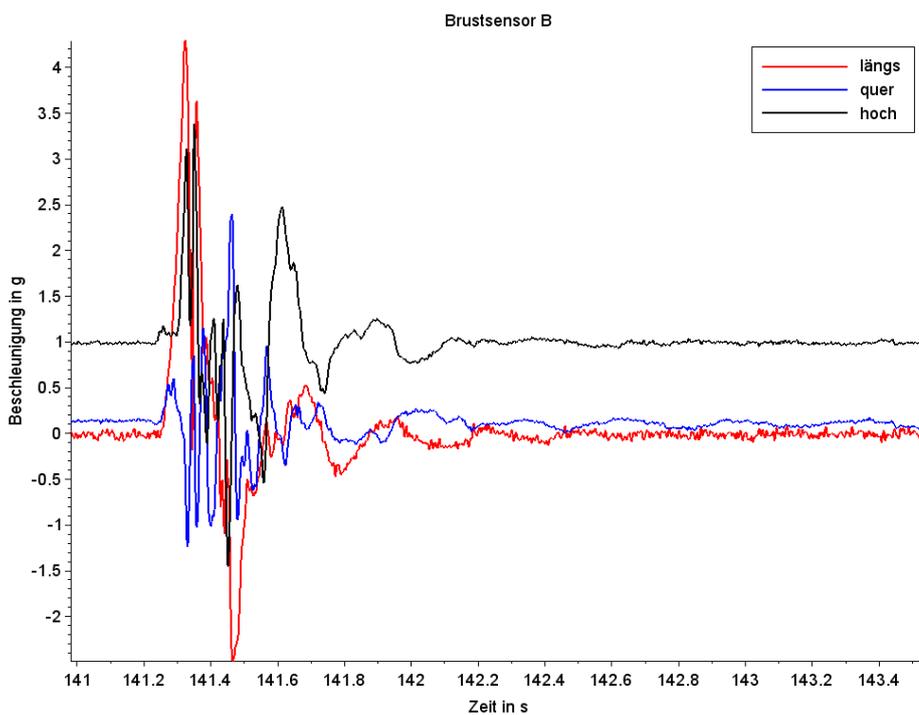


Abbildung 64 KV 1 Beschleunigung von der IFU-Messbox an der Brust

Den aufgezeichneten Beschleunigungsverlauf des PID zeigt Abbildung 65. Die Werte sind dort mit 100 Hz gefiltert. Das Maximum liegt bei rd. 3,3 G. Das Rauschen der Sensoren verringert jedoch die Erkennbarkeit der Bremsung (s. pinke Markierung).

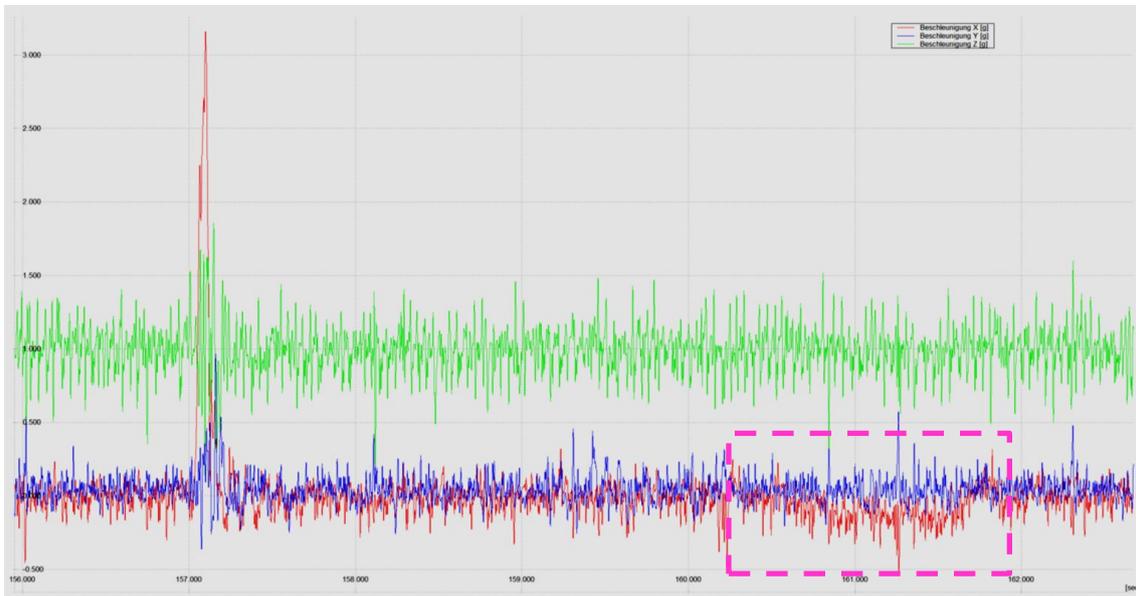


Abbildung 65 KV 1 100-Hz-gefilterter Beschleunigungsverlauf vom PID – Übersicht

Die Auswertung der externen Sensoren des PID zeigt, dass die maximale Kopfbeschleunigung bei rd. 8 G in Y-Richtung lag (s. gelber Pfeil). Dieser Wert wurde für einen geringen Zeitraum erreicht. Da die externen Sensoren der IFU-Messbox, des PID und des POD unterschiedliche Achsenbezeichnungen haben, handelt es sich bei dem Maximum in Y-Richtung eigentlich um das Maximum in X-Richtung. Für eine anwendungsbezogene Auswertung der externen Sensoren müsste die Resultierende der X-, Y-, und Z-Sensoren gebildet werden. Da hier die Geräte selbst untersucht werden, ist die Resultierende jedoch nicht von Bedeutung. Etwaige Montagefehler würden bei allen Messsystemen gleichermaßen auftreten.

Der Verlauf der Beschleunigungen lässt sich aufgrund des Rauschens nicht deutlich vom Signal trennen, daher wurde als Referenz zusätzlich der Beschleunigungsverlauf des internen Sensors in X-Richtung dargestellt.

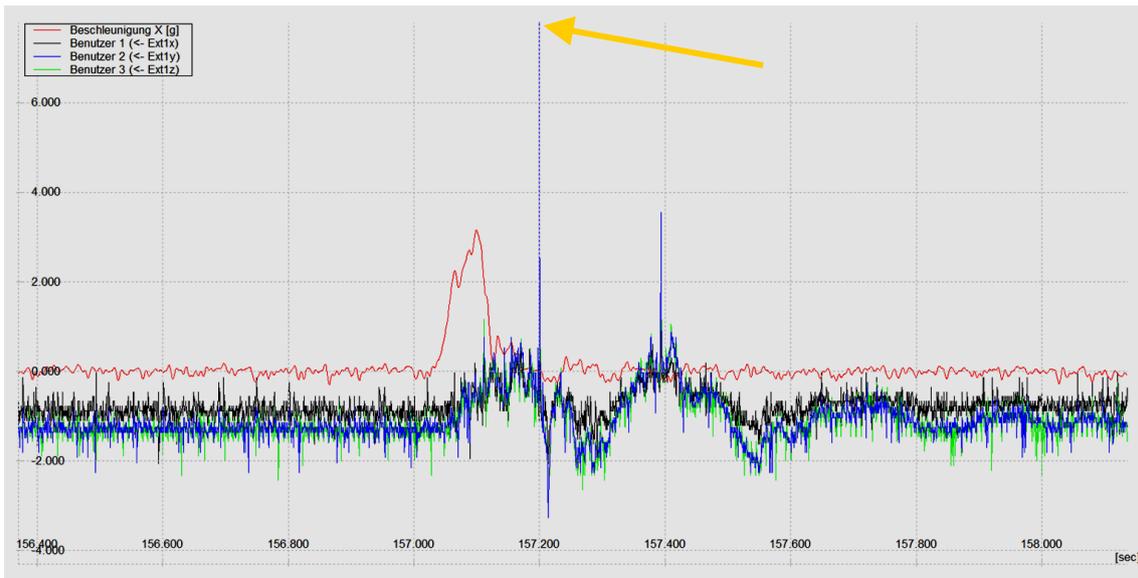


Abbildung 66 KV 1 100-Hz-gefilterter Beschleunigungsverlauf vom PID am Kopf

Auch beim Beschleunigungsverlauf des Brustsensors wurde als Referenz die Fahrzeugbeschleunigung in X-Richtung mit eingeblendet. Das Maximum ist ähnlich wie beim Kopfsensor ausgebildet. Insgesamt scheinen die externen Sensoren des PID jedoch ein vom Rauschen verschwommenes Signal zu liefern.

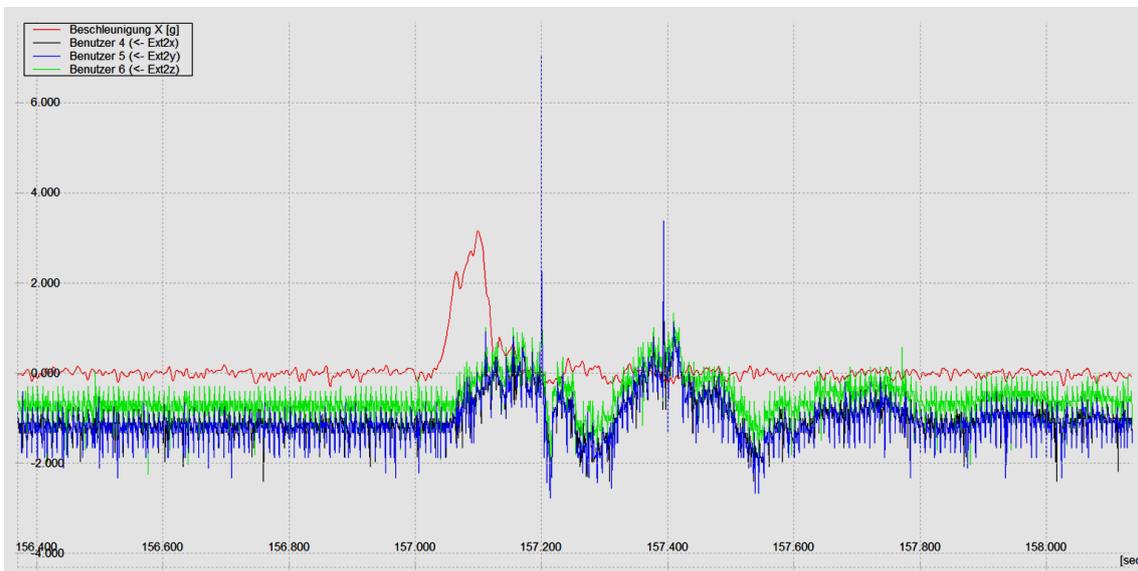


Abbildung 67 KV 1 100-Hz-gefilterter Beschleunigungsverlauf vom PID an der Brust

Die Werte der internen Sensoren der IFU-Messbox stimmen überein mit denen des UDS und des PID. Bei den externen Sensoren zeigen die IFU-Sensoren einen nachvollziehbaren Verlauf an.

Planung KV 2

Bei diesem Versuch habe ich mich bei einer geplanten Durchführung des IFU-Hamburg beteiligt. Der Plan sowie der Aufbau wurden von Herrn Dr. Behr des IFU-Hamburg entwickelt.

Bei der streifenden Kollision (KV 2) sollte das stoßende Fahrzeug parallel zu dem gestohlenen Fahrzeug stehen. Das Stoßende sollte dann zurücksetzen und einlenken, sodass die Seite an der Ecke des stehenden Fahrzeugs entlangschrammt. Zudem sollte eine Verhakung der Fahrzeuge hervorgerufen werden.



Abbildung 68 KV 2 Übersicht

Aufbau KV 2

Für diesen Kollisionsversuch wurden ein Ford Fiesta und ein Seat Ibiza verwendet. Bei diesem Kollisionsversuch erfolgte die gleiche Montageart des Geräteträgers wie beim KV 1. Alle Messsysteme sind im Ford verbaut. Zusätzlich befindet sich die DL1 in Verbindung mit dem Peiselerrad im Seat. Zudem wurden zur Versuchsdokumentation Filmkameras aufgestellt.

Durchführung KV 2

Der Kollisionsversuch 2 (KV 2) wurde auf dem Gelände des IFU-Hamburg durchgeführt. Zunächst wurden Probefahrten durchgeführt um die seitliche Annäherung der Fahrzeuge zu untersuchen. Dabei stellte sich heraus, dass das parallele Ausrichten der Fahrzeuge zu Beginn des Versuches Einfluss auf den Wendekreis hatte. Daher fuhr der Ford mit einem festen Lenkeinschlag.

Die Fahrzeuge wurden in die Anstoßkonfiguration gebracht (s. Abbildung 69). Anschließend wurde der Seat geringfügig gerade zurückgerollt. Daraufhin fuhr der Ford mit dem festen Lenkwinkel vorwärts. Dann wurde der Seat einige Zentimeter weiter vorgerollt als in der Anstoßposition. Nachdem die Messsysteme und Kameraaufnahmen gestartet wurden, fuhr der Ford rückwärts an der vorderen Ecke des Seat entlang schrammend. Als der Ford stand, wurden die Aufzeichnungen der Kameras und Messsysteme beendet.



Abbildung 69 KV 2 Anstoßkonfiguration

Beobachtung KV 2

Vor dem Fahrbeginn wurde versehentlich im Stand kurzzeitig die Drehzahl erhöht. Zudem kam es bei der Rückwärtsfahrt zu einer Verhakung, sodass der Ford nicht weiter zurückfahren konnte. Die Karosserie des Fords wurde durch den Anstoß geringfügig angehoben (vgl. Abbildung 70 mit Abbildung 71). Die Räder blieben jedoch auf dem Boden. Der Ford federte durch den Anstoß also aus. Nach dem Versuch wurde festgestellt, dass die Aufzeichnungsdauer des POD zu kurz gewählt wurde, sodass die Kollision nicht mit aufgezeichnet wurde.



Abbildung 70 KV 2 Anstoßbeginn



Abbildung 71KV 2 Die Karosserie des Ford federt leicht aus

Auswertung KV 2

Die Daten wurden entsprechend Abbildung 72ff. aufbereitet. Die Auswertung des Kollisionsversuches (KV 2) erfolgte mit dem IFU-Programm für die IFU-Messbox und mit dem PocketDAQ Analyzer für den PocketDAQ und PICDAQ. Der UDS hatte bei den geringen Beschleunigungen nicht ausgelöst und kann daher nicht ausgewertet werden.

In Abbildung 72 ist Beschleunigungsverlauf des POD dargestellt. Zu Beginn des Messschriebes ist nur das Rauschen des Sensors erkennbar (s. schwarzer Pfeil). Im Anschluss ist zu sehen, dass der Motor gestartet wurde (s. roter Pfeil). Die anschließenden Schwingungen wurden durch den Motor erzeugt. In etwa der Mitte des Messschriebes ist eine Zunahme der Beschleunigung in X-Richtung zu erkennen (s. blauer Pfeil). In diesem Zeitraum wurde versehentlich die Drehzahl erhöht. Die Kollision liegt außerhalb des Aufzeichnungszeitraums. Daher wurde eine markante Beschleunigung mit einem gelben Pfeil markiert. Die kurzzeitigen Maxima in den Messwerten sind auf das Schließen der Fahrzeugtüren zurückzuführen.

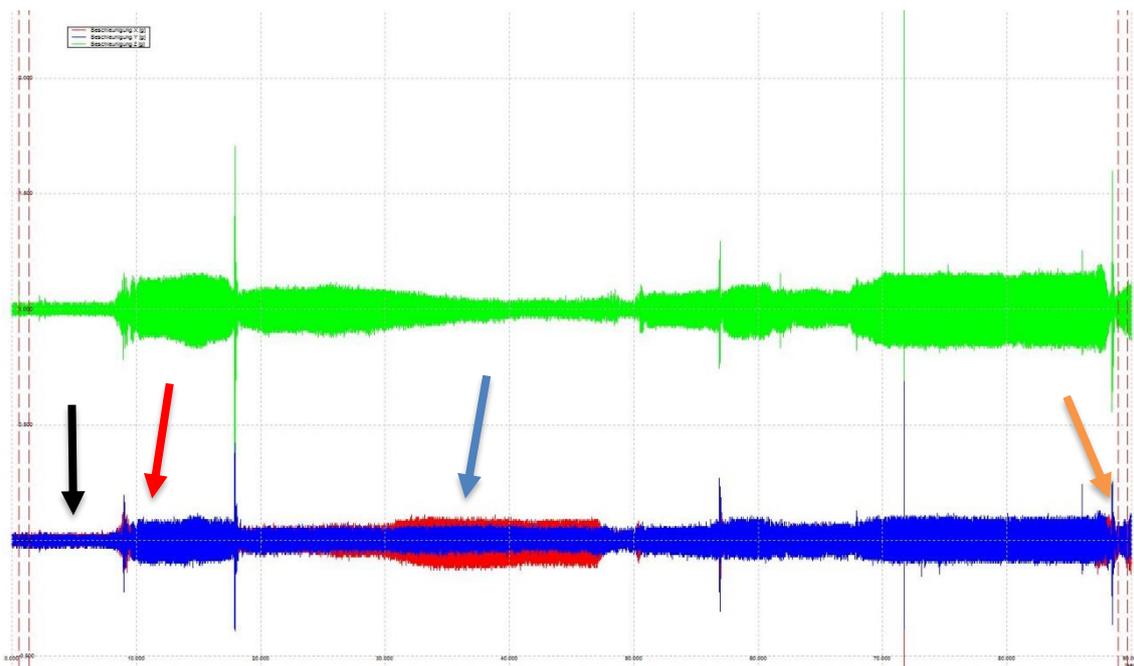


Abbildung 72 KV 2 Beschleunigungsverlauf des POD

Der Beschleunigungsverlauf des PID wird in Abbildung 73 gezeigt. Auch hier sind das Rauschen des Sensors, der Motorstart, die Erhöhung der Drehzahl sowie die markante Beschleunigung mit den gleichen Farbfeilen wie beim POD markiert. Die Messwerte der Kollision sind in diesem Fall mit einem grünen Pfeil markiert. Das Rauschen des

Sensors ist vom Start des Motors zu unterscheiden. Die kurzzeitige Erhöhung der Drehzahl ist schwach vom Rauschen der Sensoren zu unterscheiden. Die markante Beschleunigung wird nahezu vollständig von den Schwingungen des Motors überdeckt. Die Kollision zwischen dem Seat und dem Ford konnte nur anhand des Zeitstempels erkannt werden. Dazu wurde der Zeitraum der kurzzeitigen Erhöhung der Drehzahl bis zur Kollision bei der IFU-Messbox gemessen und dieser Zeitraum dann auf den Graphen des PID übertragen (s. Abbildung 74). Der Zeitraum beträgt rd. 120 s. Die kurzzeitigen Maxima, die aus dem Schließen der Fahrzeurtüren herrühren, sind klar erkennbar.

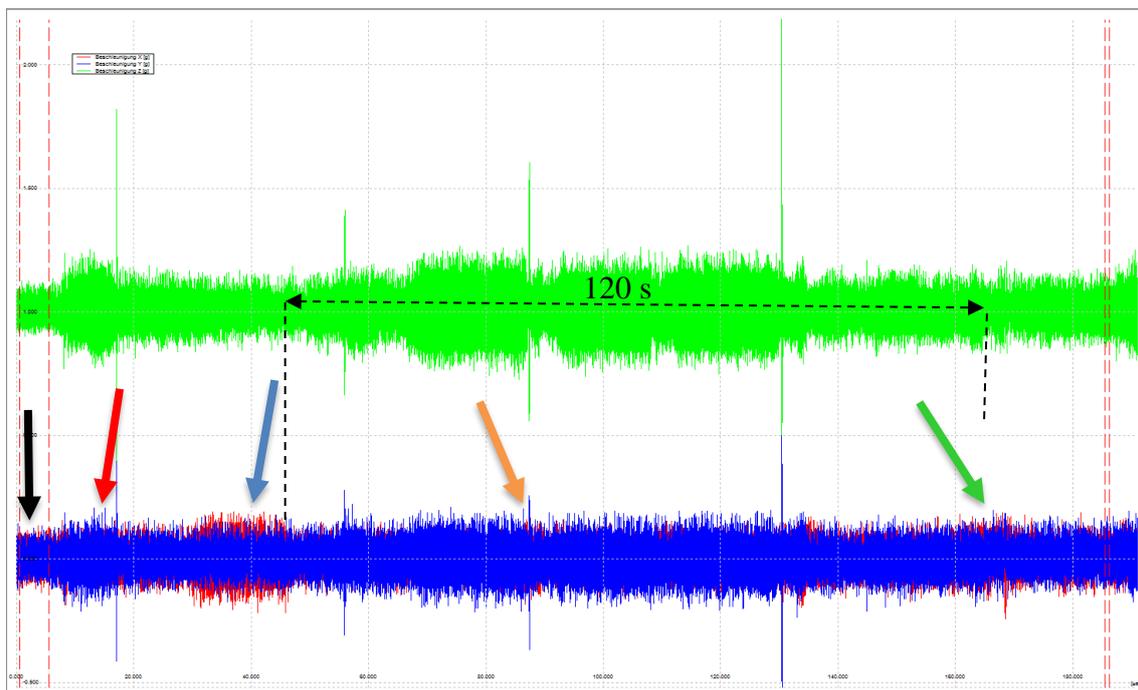


Abbildung 73 KV 2 Beschleunigungsverlauf des PID

Die Messwerte der IFU-Messbox sind in Abbildung 74 dargestellt. Auch hier sind das Rauschen des Sensors, der Motorstart, die Erhöhung der Drehzahl sowie die markante Beschleunigung mit den gleichen Farb Pfeilen wie beim POD und PID markiert. Der Motorstart hebt sich deutlich vom Rauschen des Sensors hervor. Auch die Drehzahlerhöhung ist besser erkennbar, als beim PID und POD. Die markante Beschleunigung sowie der Beschleunigungsverlauf während der Kollision heben sich unverkennbar von den Motorschwingungen ab.

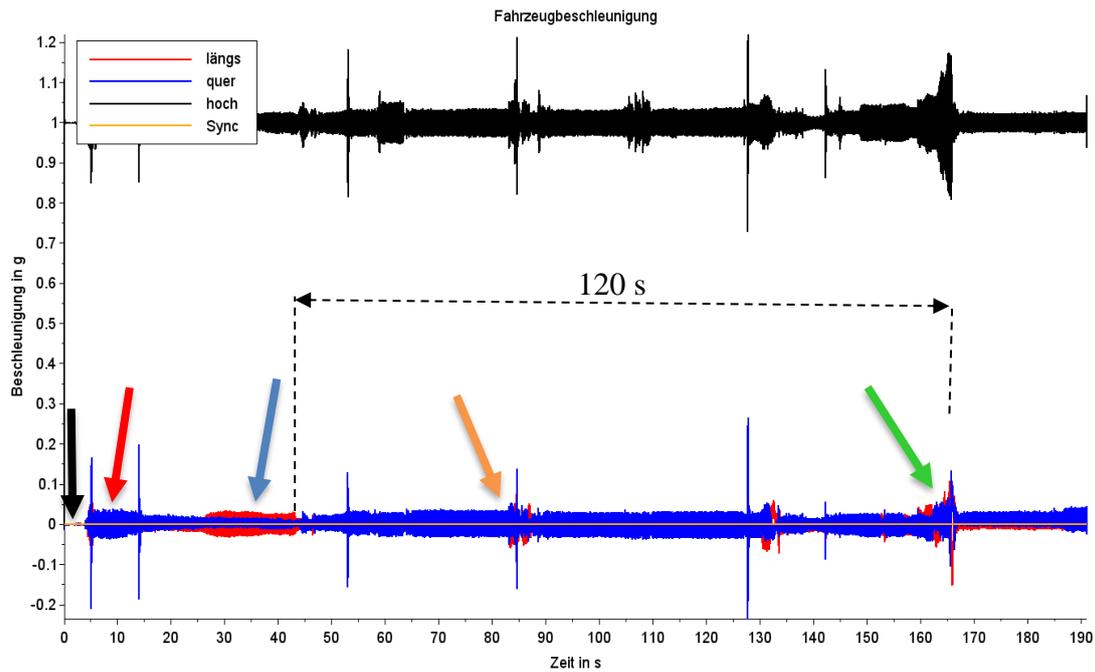


Abbildung 74 KV 2 Beschleunigungsverlauf der IFU-Messbox

In Abbildung 69 ist der Zeitraum des Anstoßes detailliert abgebildet. Die Daten wurden nicht mit einem Offset versehen um die Erkennbarkeit der beiden Beschleunigungsverläufe zu verbessern. Die Schwingungen des Motors sind auch hier erkennbar von dem Kollisionssignal zu unterscheiden. Die Beschleunigungen wirken sowohl in X-, Y- und Z-Richtung. Dies lässt sich so erklären, dass der rückwärtsfahrende Ford in X-Richtung abgebremst wurde und in Y-Richtung auf den Seat traf. Zudem wirkte in Y-Richtung die Erdbeschleunigung sowie die Zentrifugalkraft durch die Kurvenfahrt und den damit einhergehenden Wankwinkel. Die Beschleunigung in Z-Richtung rührt zum einem ebenfalls aus dem Wankwinkel der Kurvenfahrt und zum anderen aus dem Anheben der Ford-Karosserie durch den Anstoß.

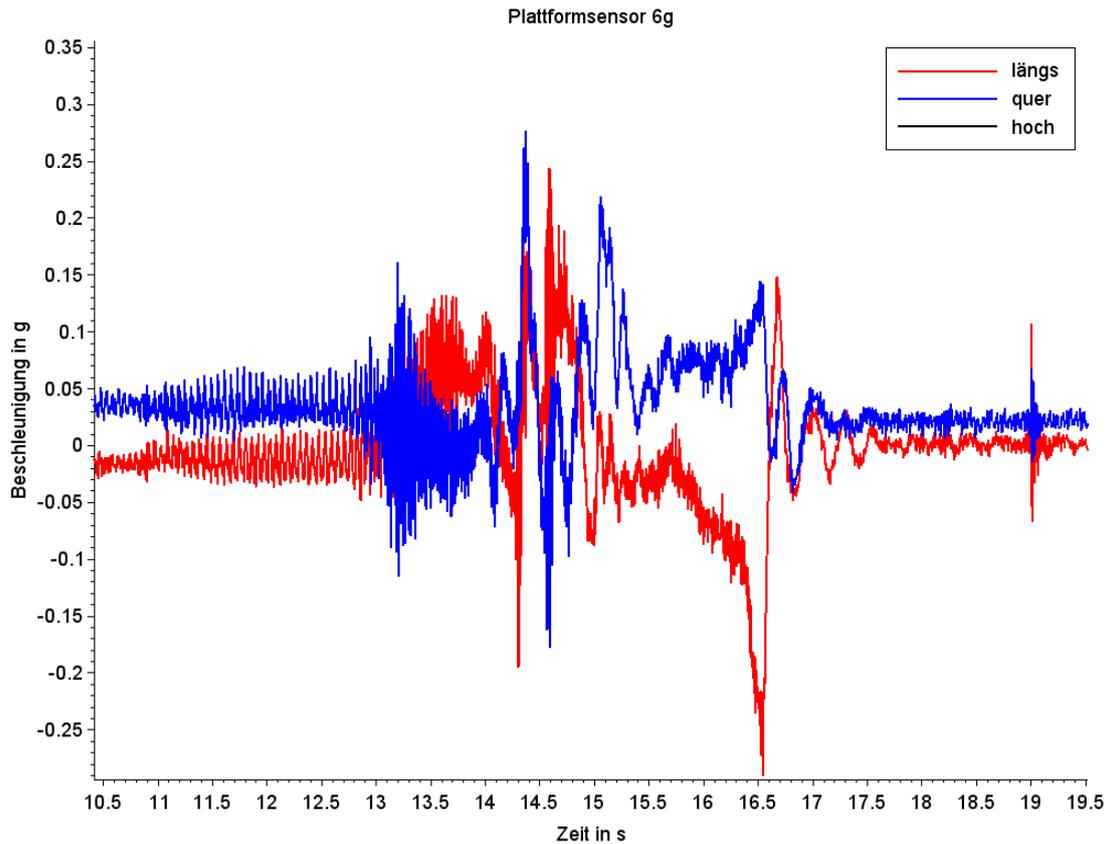


Abbildung 75 KV 2 Beschleunigungsverlauf der IFU-Messbox – Anstoß

Die IFU-Messbox hat bei diesem Versuch gezeigt, dass das Rauschen der Sensoren einen deutlichen Einfluss auf die Erkennbarkeit von gering ausgeprägten Signalen hat. Besonders die kurzzeitige Erhöhung der Motordrehzahl ist bei der IFU-Messbox besser als beim PID und POD zu erkennen. Die Kollision wurde vom POD nicht aufgezeichnet. Der Vergleich zwischen der IFU-Messbox und dem PID zeigt, dass die Kollision beim Beschleunigungsverlauf des PID kaum erkennbar war.

5. Zusammenfassung

Das IFU-Hamburg hat für Fahr- und Kollisionsversuche ein neues Messsystem entwickelt. In der vorliegenden Arbeit wurden die Messdaten der neu entwickelten IFU-Messbox überprüft. Dies geschah durch die Auswertung einer Reihe von Versuchen. Um die Messwerte der IFU-Messbox vergleichen zu können, wurden weitere Messsysteme, die bereits bei der Aufzeichnung von Fahrmanövern und Kollisionen verwendet wurden, herangezogen. Dabei handelt es sich um den PocketDAQ und den PICDAQ 5 der Firma DSD sowie einen Unfalldatenspeicher (UDS) der Firma Kienzle Automotive GmbH. Zudem wurden als spezielle Referenzen die DL1 der Firma Race Technology und die interne Versuchsauswertung eines Versuchsstandes der HAW genutzt.

Für die Validierung wurden vier verschiedene Versuchsarten geplant, aufgebaut und durchgeführt. Zunächst wurde ein Geräteträger entworfen, auf dem alle Geräte ausgerichtet montiert wurden. Anschließend wurden die Vorversuche geplant, diese dienen einer ersten Überprüfung der Sensoren. Dabei sollte lediglich die Erdbeschleunigung auf die Messsysteme wirken. Dazu wurden der Geräteträger um die drei Raumachsen mit verschiedenen Winkeln gedreht. Die Messwerte der Referenz-Systeme sowie die Soll-Werte sind beachtlich ähnlich zu den Werten der IFU-Messbox. Auch die Beschleunigungssensoren aller Messsysteme dokumentieren bei den Drehversuchen sehr ähnliche Werte. Die Gyrosensoren und Beschleunigungssensoren der IFU-Messbox weisen also nach den Drehversuchen keine groben Abweichungen auf.

Anschließend wurden die für die durchgeführte Arbeit wichtigsten Versuche geplant, die Laborversuche. Diese heben sich von den anderen im Umfang deutlich von den anderen ab. Die Laborversuche wurden an dem horizontalen Schockprüfstand der HAW durchgeführt. Dieser besteht aus einem Schlitten, auf dem ein Autositz mit dem Dummy sowie der Geräteträger befestigt wurden, und einem Pendelhammer. Das Pendel wurde ausgelenkt und prallte dann gegen den Schlitten und beschleunigte diesen nach vorne. Diese Versuche waren reproduzierbar und wurden daher auch statistisch ausgewertet. Dabei wurde festgestellt, dass die IFU-Messwerte der 6 G-Sensoren in X- und Y-Richtung zu denen der HAW und des POD und unter Vorbehalt auch zu denen des PID passen. Auch die Größenordnung der gemessenen Daten des 50 G-Sensors der IFU-Messbox in X- und Y-Richtung stimmt mit denen der anderen Messsysteme überein.

Die Auswertung eines definierten Zeitraumes zeigt, dass die Zeitdauer der IFU-Messbox nahezu exakt mit der Zeitdauer des PocketDAQ übereinstimmt. Die Abweichungen, auch zu den anderen Geräten, liegen insgesamt unter 1%. Die IFU-Messbox zeichnet die Zeitpunkte also korrekt auf.

Auch das Rauschen der verschiedenen Sensoren wurde untersucht. Das Rauschen des 6 G-Sensors sowie des 50 G-Sensors der IFU-Messbox ist im Vergleich zu den anderen Systemen bei den jeweiligen Versuchen am geringsten.

Die Auswertung der externen Sensoren erfolgte lediglich oberflächlich, da die wirkenden Beschleunigungen bei den Laborversuchen den Messbereich dieser Sensoren der IFU-Messbox überschritten. Es kann jedoch festgestellt werden, dass die externen Sensoren der IFU-Messbox den gleichen Verlauf wie die anderen Messsysteme zeigen.

Zudem wurden einfache Fahrversuche durchgeführt. Dabei fuhr ein Fahrzeug an und wurde dann bis zum Stillstand abgebremst. An dem Fahrzeug befanden sich an der Front und am Heck Ultraschallsensoren, die die Nickbewegungen des Fahrzeuges erfasst haben. Diese Nickbewegung wurde mit der DL1 aufgenommen und mit den Werten der anderen Messsysteme verglichen. Die Ergebnisse der IFU-Messbox waren mit den Ergebnissen der DL1 und den anderen Systemen vereinbar.

Außerdem wurden zwei Kollisionsversuche realisiert: eine Auffahrkollision und eine streifende Kollision. Bei der Auffahrkollision fuhr ein Renault Twingo mit rd. 13 km/h auf einen stehenden Audi 80, in dem ein Proband saß, auf. Der Audi wurde nach vorne beschleunigt. Die Beschleunigungsdaten der Fahrzeuge wurden vom PicDAQ, dem UDS und der IFU-Messbox aufgezeichnet und stimmen überein. Die Auswertung der externen Sensoren der IFU-Messbox zeigt einen nachvollziehbaren und plausiblen Verlauf der Beschleunigung am Kopf und der Brust des Probanden.

Bei dem zweiten Kollisionsversuch schrammt ein Ford Fiesta in einer Bogenfahrt rückwärts an der vorderen rechten Ecke eines Seat Ibiza entlang. Die Aufzeichnungen der Beschleunigungen bei diesem Versuch zeigen, dass das Rauschen der Sensoren einen deutlichen Einfluss auf die Erkennbarkeit von gering ausgeprägten Signalen hat. Das Rauschen des kleinsten Sensors der IFU-Messbox ist am geringsten, sodass eine Erhöhung der Motordrehzahl des Fords im Vergleich zu den anderen Messsystemen am besten zu erkennen war.

6. Ausblick

Der nächste Schritt wäre die Auswertung der externen Sensoren in einem gültigen Arbeitsbereich (kleiner als 16 G). Die externen Sensoren dienen hauptsächlich dazu, die Beschleunigung an Kopf und Brust eines Probanden zu messen. Da Beschleunigungen von mehr als 16 G bei Probandenversuchen am IFU-Hamburg nicht durchgeführt werden, sind die Sensoren korrekt ausgelegt. Zudem wäre das Rauschen dieser Sensoren näher zu untersuchen und mit denen anderer Messsysteme zu vergleichen.

Auch die Zuverlässigkeit sollte in der Praxis weiter überprüft werden. Die IFU-Messbox hatte während der Dauer der Arbeit nahezu keine Ausfälle zu verzeichnen. Ob die IFU-Messbox weiterhin korrekte Beschleunigungen und Drehraten aufzeichnet, sollte regelmäßig kontrolliert werden. Dabei könnte man sich an den oben dargestellten Vorversuchen orientieren.

Weiterhin sollte die Synchronisation mit einer zweiten IFU-Messbox in Hinblick auf Störsignale untersucht werden. Durch das Auslösen des Sync-Signals könnten Schwingungen auftreten, die von den Sensoren als Beschleunigungen erfasst werden und so falsch interpretiert werden.

Wie bei der Überprüfung des Einflusses des Synchronisation-Signals sollte kontrolliert werden, ob der Einsatz der Fernbedienung die Sensoren der IFU-Messbox beeinflusst.

Zudem sollte das Akkumulator-Konzept der IFU-Messbox vervollständigt werden. Zum Zeitpunkt der Bearbeitung dieser Arbeit stand lediglich eine provisorische Lösung zur Verfügung.

7. Literaturverzeichnis

- [1] R. Parthier, Messtechnik, Wiesbaden: vieweg, 2008.
- [2] DATACOM Buchverlag GmbH, „itwissen; Rauschen,“ [Online]. Available: <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Rauschen-N-noise.html>. [Zugriff am 12 2016].
- [3] „Colliseum,“ [Online]. Available: https://www.colliseum.net/wiki/Filtern_von_Beschleunigungssignalen_nach_SAE_J211. [Zugriff am 11 2016].
- [4] IFU, *internes Skript*.
- [5] H. F. E. T. R. Kosfeld, Deskriptive Statistik, Wiesbaden: Springer Gabler, 2016.
- [6] Robert Bosch GmbH, Kraftfahrzeugtechnisches Taschenbuch, Wiesbaden: Vieweg, 2007.
- [7] wavemetrics, „wavemetrics,“ [Online]. Available: <http://www.wavemetrics.net/doc/igorman/V-01%20Reference.pdf>. [Zugriff am 12 2016].
- [8] M. E. S. G. Bernd Heißing, Fahrwerkhandbuch, 2013.
- [9] DATACOM Buchverlag GmbH, „itwissen, Beschl.,“ [Online]. Available: <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Geschwindigkeitsmessung-speed-measurement.html>. [Zugriff am 12 2016].
- [10] D.-I. E. v. Hinüber, „<http://www.imar-navigation.de>,“ [Online]. Available: http://www.imar-navigation.de/downloads/papers/atx_6_2002_de.pdf. [Zugriff am 12 2016].
- [11] DATACOM Buchverlag GmbH, „itwissen, Gyro,“ [Online]. Available: <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Gyrosensor-gyro-sensor.html>. [Zugriff am 12 2016].
- [12] DSD, Dr. Steffan Datentechnik Ges.m.b.H, „DSD PicDAQ,“ [Online]. Available: http://www.dsd.at/index.php?option=com_content&view=article&id=327:pic-daq-deutsch&catid=53&Itemid=174&lang=de. [Zugriff am 10 2016].
- [13] DSD, Dr. Steffan Datentechnik Ges.m.b.H, *PicDaq & PocketDAQ Analyzer Bedienungshandbuch*, Linz: Dr. Steffan Datentechnik, 2015.
- [14] M. Burg, Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion, Wiesbaden: vieweg, 2009.

- [15 E. Senatli, „Vergleich und Bewertung der Aufzeichnung von Crashrecordern,“ Berlin, 2011.
- [16 autorenteam GbR, Unfallrekonstruktion, Münster: Hrsg. Hugemann, 2007.
- [17 „<https://www.colliseum.net/wiki/UDS>,“ 2016. [Online].
- [18 Continental Trading GmbH, Unfalldatenspeicher Bedienungsanleitung, 2009.
- [19 CN-Solutions Baumgartner+Liebl OG, „digitaltachograph,“ [Online]. Available: <http://www.digitaltachograph.at/download/UDS%20AT%20Vergleich%20zu%20UDS%202.0.pdf>. [Zugriff am 10 2016].
- [20 emotag e.K., „Emotag,“ [Online]. Available: http://www.emotag.de/PDF/DL1_Datasheet_DE.pdf. [Zugriff am 12 2016].
- [21 *IFU-Messbox*. [Art]. IFU, 2016.
- [22 H. Theilen, *Passive Sicherheit: Schlittenversuch*, Hamburg : HAW Hamburg (Leichtbaulabor), 2015.
- [23 „<http://www.digitaltachograph.at/download/UDS%20AT%20Vergleich%20zu%20UDS%202.0.pdf>,“ 2016. [Online].
- [24 [Online]. Available: <https://userpages.uni-koblenz.de/~physik/informatik/Sensoren/beschleunigung.pdf>. [Zugriff am 2016].

Anhang

A Versuchsprotokolle Laborversuche

769

JW

MA-Schlittenversuche

Nr	Aufgabe	Glob X	Glob Y	Foto	Daten	Uhrzeit	Datum	Bemerkung
1	Drehung um Z (0°) nach links	x	y			9:05	26.9.	842
2	Drehung um Z (0°) nach links	x	y			9:08		843
3	Drehung um Z (0°) nach links	x	y			9:12		842 UD5 4x
4	Drehung um Z (0°) nach links	x	y			9:15		843
5	Drehung um Z (0°) nach links	x	y			9:18		843
6	Drehung um Z (0°) nach links	x	y			9:27		844
7	Drehung um Z (0°) nach links	x	y			9:30		845
8	Drehung um Z (0°) nach links	x	y			9:34		845
9	Drehung um Z (0°) nach links	x	y			9:37		845
10	Drehung um Z (0°) nach links	x	y			9:40		845
11	Drehung um Z (90°) nach links	-y	x			10:55	23.9	836
12	Drehung um Z (90°) nach links	-y	x			11:02		836 POV s.b.g. Foto
13	Drehung um Z (90°) nach links	-y	x			11:08		836
14	Drehung um Z (90°) nach links	-y	x			11:12		837
15	Drehung um Z (90°) nach links	-y	x			11:15		837 POV Fehler
16	Drehung um Z (90°) nach links	-y	x			11:20		835
17	Drehung um Z (90°) nach links	-y	x			12:03		839
18	Drehung um Z (90°) nach links	-y	x			12:07		836
19	Drehung um Z (90°) nach links	-y	x			12:11		837
20	Drehung um Z (90°) nach links	-y	x			12:16		841
21	Drehung um Z (180°) nach links	-x	-y			10:48	26.9	841
22	Drehung um Z (180°) nach links	-x	-y			10:57		841 (Fehlversuch)
23	Drehung um Z (180°) nach links	-x	-y			10:58		841
24	Drehung um Z (180°) nach links	-x	-y			11:03		842
25	Drehung um Z (180°) nach links	-x	-y			11:09		840
26	Drehung um Z (180°) nach links	-x	-y			11:19		840
27	Drehung um Z (180°) nach links	-x	-y			11:23		847
28	Drehung um Z (180°) nach links	-x	-y			11:26		842
29	Drehung um Z (180°) nach links	-x	-y			11:29		843
30	Drehung um Z (180°) nach links	-x	-y			11:32		841
31	Drehung um Z (270°) nach links	y	-x			13:31	28.9	837
32	Drehung um Z (270°) nach links	y	-x			13:43		841
33	Drehung um Z (270°) nach links	y	-x			13:49		838
34	Drehung um Z (270°) nach links	y	-x			13:59		839
35	Drehung um Z (270°) nach links	y	-x			14:04		839
36	Drehung um Z (270°) nach links	y	-x			14:25		840
37	Drehung um Z (270°) nach links	y	-x			14:29		837
38	Drehung um Z (270°) nach links	y	-x			14:33		840
39	Drehung um Z (270°) nach links	y	-x			14:36		842
40	Drehung um Z (270°) nach links	y	-x			14:40		840

MAW Einstell

Abbildung 76 16 G-Versuche

6G - Versuch

J. Wagner

MA-Schlitterversuche

Protokoll

Nr	Aufgabe	Glob X	Glob Y	Foto	Daten	Uhrzeit	Datum	Bemerkung
1	Drehung um Z (0°) nach links	x	y			15:32	27.9	644
2	Drehung um Z (0°) nach links	x	y			15:40		645
3	Drehung um Z (0°) nach links	x	y			15:43		646
4	Drehung um Z (0°) nach links	x	y			15:45		645
5	Drehung um Z (0°) nach links	x	y			15:48		646
6	Drehung um Z (0°) nach links	x	y			15:51		644
7	Drehung um Z (0°) nach links	x	y			15:55		644
8	Drehung um Z (0°) nach links	x	y			16:00		645
9	Drehung um Z (0°) nach links	x	y			16:03		645
10	Drehung um Z (0°) nach links	x	y			16:05		643
11	Drehung um Z (90°) nach links	-y	x			8:39	23.9	645
12	Drehung um Z (90°) nach links	-y	x			8:43		644
13	Drehung um Z (90°) nach links	-y	x			8:45		644
14	Drehung um Z (90°) nach links	-y	x			8:48		647
15	Drehung um Z (90°) nach links	-y	x			8:50		644
16	Drehung um Z (90°) nach links	-y	x			9:01		644
17	Drehung um Z (90°) nach links	-y	x			9:04		642
18	Drehung um Z (90°) nach links	-y	x			9:07		645
19	Drehung um Z (90°) nach links	-y	x			9:09		644
20	Drehung um Z (90°) nach links	-y	x			9:12		644
21	Drehung um Z (180°) nach links	-x	-y			12:40	27.9.12	642
22	Drehung um Z (180°) nach links	-x	-y			12:44		643
23	Drehung um Z (180°) nach links	-x	-y			12:47		642
24	Drehung um Z (180°) nach links	-x	-y			12:51		642
25	Drehung um Z (180°) nach links	-x	-y			12:54		642
26	Drehung um Z (180°) nach links	-x	-y			13:00		642
27	Drehung um Z (180°) nach links	-x	-y			13:26		642
28	Drehung um Z (180°) nach links	-x	-y			13:28		643
29	Drehung um Z (180°) nach links	-x	-y			13:29		647
30	Drehung um Z (180°) nach links	-x	-y			13:31		644
31	Drehung um Z (270°) nach links	y	-x			14:52	22.9.	650
32	Drehung um Z (270°) nach links	y	-x			14:53		650
33	Drehung um Z (270°) nach links	y	-x			14:55		649
34	Drehung um Z (270°) nach links	y	-x			14:57		649
35	Drehung um Z (270°) nach links	y	-x			14:59		650
36	Drehung um Z (270°) nach links	y	-x			15:02		645
37	Drehung um Z (270°) nach links	y	-x			15:07		649
38	Drehung um Z (270°) nach links	y	-x			15:12		649
39	Drehung um Z (270°) nach links	y	-x			15:23		648
40	Drehung um Z (270°) nach links	y	-x			15:26		648

Import MIT

Abbildung 77 6 G-Versuch

B CD

Eidesstattliche Erklärung



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit

Gemäß der Allgemeinen Prüfungs- und Studienordnung ist zusammen mit der Abschlussarbeit eine schriftliche Erklärung abzugeben, in der der Studierende bestätigt, dass die Abschlussarbeit „– bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit [(§ 18 Abs. 1 APSO-TI-BM bzw. § 21 Abs. 1 APSO-INGI)] – ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

Quelle: § 18 Abs. 5 APSO-TI-BM bzw. § 15 Abs. 6 APSO-INGI

Dieses Blatt, mit der folgenden Erklärung, ist nach Fertigstellung der Abschlussarbeit durch den Studierenden auszufüllen und jeweils mit Originalunterschrift als letztes Blatt in das Prüfungsexemplar der Abschlussarbeit einzubinden.

Eine unrichtig abgegebene Erklärung kann -auch nachträglich- zur Ungültigkeit des Studienabschlusses führen.

Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Arbeit

Hiermit versichere ich,

Name: _____

Vorname: _____

dass ich die vorliegende _____ – bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema:

ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

- die folgende Aussage ist bei Gruppenarbeiten auszufüllen und entfällt bei Einzelarbeiten -

Die Kennzeichnung der von mir erstellten und verantworteten Teile der _____ ist erfolgt durch:

_____ Ort

_____ Datum

_____ Unterschrift im Original