



## MAXIMALE G-KRÄFTE KARATE

Hochschule Luzern Technik & Architektur PAIND HS2021

Autor:

Adrian Kurmann

Betreuer:

Dr. Andrew Paice, Leiter

iHomeLab

Co Betreuer:

Dr. Martin Biallas,

Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Datum:

03.01.2022

## Ausgangslage

Um die maximalen G-Kräfte während Karatebewegungen zu bestimmen, steht eine GoPro Hero Black 10 und ein MSR165 Beschleunigungssensor zur Verfügung. Innerhalb der ersten Tests wurde bekannt, dass herkömmliche Beschleunigungssensoren bis 16G nicht genügen, um Karatebewegungen zuverlässig aufzunehmen. Aus diesem Grund wurde nach einer alternative gesucht, welche höhere Beschleunigungen aufzeichnen kann. Dem MSR165 Beschleunigungssensor ist es möglich, Beschleunigungen bis  $+200g$  zu ermitteln. Die Genauigkeit beträgt im Messbereich von 16-100G  $\pm 5G$  und es kann mit einer Auflösung bis 1.6kHz gemessen werden. Die GoPro dient als Referenzmessung der Beschleunigung. Mit dem Viana.net Framework werden die Videos analysiert und die Beschleunigung bestimmt. Die Genauigkeit dieser Referenzmessung wird mittels Fehlerrechnung überprüft.



Abbildung 1 Versuchsaufbau G-Kräfte: Bewegungen werden vor grauer Wand durchgeführt

An jeder Testperson werden mehrere Messungen und Videoaufnahmen durchgeführt. Eine Messung wird an den Beinen durchgeführt und mehrere Messungen an den Armen. Die meisten Messungen werden dabei mit der GoPro gefilmt und ausgewertet.

## Test MSR165 Sensor

Der MSR16 besitzt mehrere integrierte Sensoren. Für die folgenden Messungen wird nur der Beschleunigungssensor bis  $\pm 200G$  verwendet. Um die Beschleunigungswerte aufzuzeichnen, wird ein ADXL372 MEMS Beschleunigungssensor verwendet, welcher im Gehäuse des MSR165 verbaut ist. Die Messungen der verwendeten Sensoren werden mittels Kondensatoren gemessen, welche ihre Kapazität proportional zur Beschleunigung ändern. Die technischen Daten sind in Abbildung 2 ersichtlich. (ANALOG DEVICES, 2021)

Damit der Beschleunigungssensor optimal verwendet werden kann, müssen zuerst die Parameter für den verwendeten Messaufbau eingestellt werden. In Abbildung 3 sind die eingestellten Parameter ersichtlich. Um in der kurzen Messzeit möglichst viele

Messgröße / Mess-/Speicherrate	Messbereich / Genauigkeit
Temperatur 1/s bis alle 12 h	extern: $-55...+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ intern: $-20...+65\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ( $-10...+65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ( $-55...+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
Relative Feuchte mit integrierter Temperatur 1/s bis alle 12 h	0...100 % rel. Feuchte extern: $-20...+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ intern: $-20...+65\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\pm 2\%$ rel. Feuchte ( $10...85\%$ , $0...+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) $\pm 4\%$ rel. Feuchte ( $85...95\%$ , $0...+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
Luftdruck absolut, mit integrierter Temperatur 1/s bis alle 12 h	0...2000 mbar absolut extern: $-20...+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ intern: $-20...+65\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\pm 2,5\text{ mbar}$ ( $750...1100\text{ mbar}$ absolut, $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ )  0...14 bar absolut $-20...+65\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\pm 50\text{ mbar}$ ( $1...10\text{ bar}$ abs., $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
3-Achsen-Beschleunigung 1600/s bis alle 12 h ( $\pm 15\%$ )	$\pm 15\text{ g}$ $-20...+65\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\pm 0,15\text{ g}$ ( $0...5\text{ g}$ , $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) $\pm 0,3\text{ g}$ ( $5...15\text{ g}$ , $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ )  $\pm 200\text{ g}$ $-20...+65\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\pm 2\text{ g}$ ( $0...15\text{ g}$ , $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) $\pm 5\text{ g}$ ( $15...100\text{ g}$ , $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) $\pm 10\text{ g}$ ( $100...200\text{ g}$ , $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
Licht 1/s bis alle 12 h	0...65'000 lx max. Empfindlichkeit bei 500 nm

Abbildung 2 technische Daten MSR 165 Datenlogger (msr, 2021)

Messpunkte zu generieren, wird mit der höchsten Auflösung von 1.6Khz gemessen. Um einzelne Messungen durchzuführen, können die Messungen mit einem Taster gestartet bzw. gestoppt werden. Die Messungen werden mit einem Zeitstempel im Sensor gespeichert.

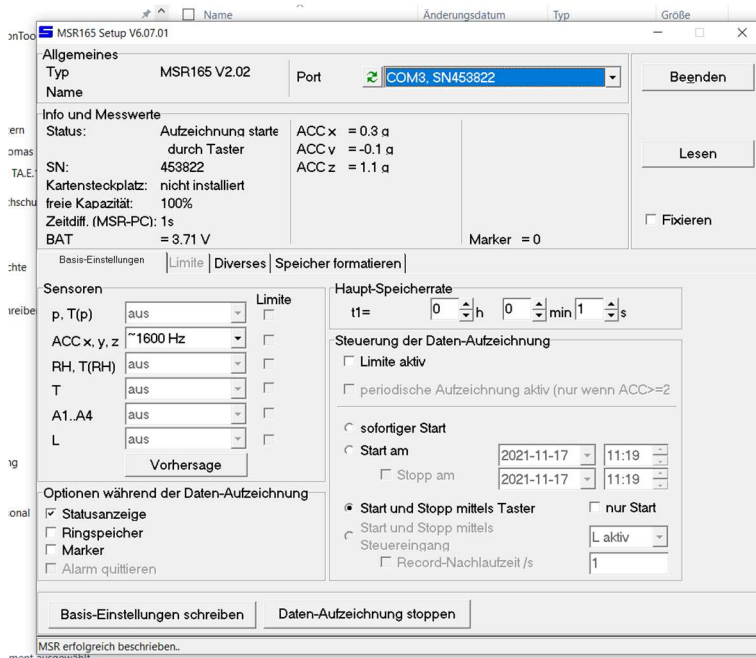


Abbildung 3 Parametereinstellung MSR 165 Beschleunigungssensor

## Messungen

Bei den Messungen wurde jeder Schlag viermal durchgeführt. In Tabelle 2 (am Ende des Dokumentes) ist jeweils der Schlag mit der höchst gemessenen Beschleunigung ersichtlich. Die Tabelle dient als Übersicht der maximalen G-Kräfte und der Schlagdauer. Weiter können die Schläge verschiedener Karatekas verglichen werden. Je nach Montage kann eine Verdrehung der Koordinatensysteme vorhanden sein. Dies muss bei einem Vergleich beachtet und entsprechend berücksichtigt werden. Die Beschriftung oberhalb der aufgezeichneten Messdaten bezieht sich auf den Namen der durchgeführten Bewegung.

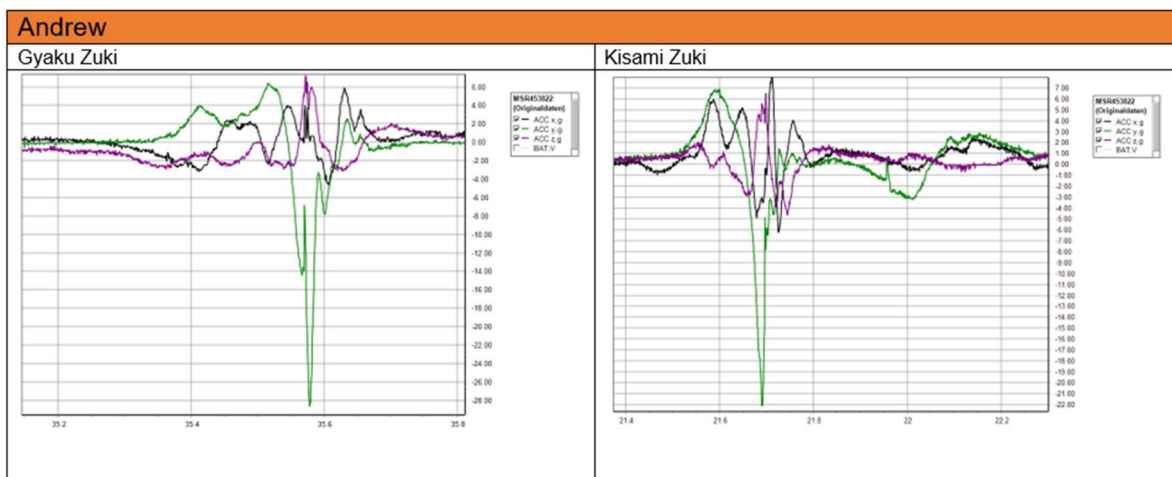


Abbildung 4 Ausschnitt der Tabelle mit allen aufgezeichneten Messungen

## Maximale G-Kräfte

In *Abbildung 6* und *Abbildung 7* können die maximal gemessenen G-Kräfte entnommen werden.

Es ist zu erkennen, dass bei allen Karatekas bei den Beinbewegungen (Mae Geri) die höchsten Beschleunigungen auftreten (Tabelle 2). Betrachtet man die Start- und Schlussequenzen der einzelnen Messungen, wird ersichtlich, dass die Maximalen G-Kräfte bei der Bremsung der jeweiligen Bewegung entstehen. Dies ist auf die Begrenzung des menschlichen Körpers zurückzuführen, welche beim Beenden des Schlages erreicht wird. Es ist erneut darauf hinzuweisen, dass die Messungen an einigen Bewegungen aufgrund der Koordinatensysteme invertiert betrachtet werden müssen.

Die maximalen gemessenen Beschleunigungen betragen:

Bein:  $\cong 42g$  (*Mae Geri, This*)  $\pm 5g$

Arm:  $\cong 35g$  (*Haraiotchi Uke, Markus*)  $\pm 5g$

Die Auflösung bzw. die Messgeschwindigkeit der Messdaten ergibt selbst bei Bewegungen mit hoher Beschleunigung einen nachvollziehbaren Verlauf. Dabei werden die Maximalwerte mit mehreren Messungen bestätigt. Bei einer Bewegungsdauer von 0.5s wird die Bewegung mit 800 Messdaten abgespeichert.

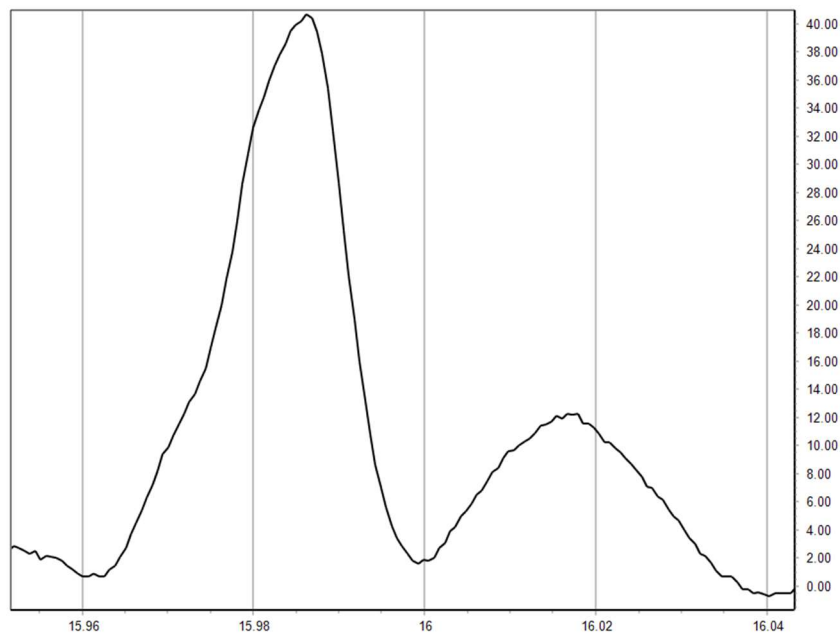


Abbildung 5 Beurteilung der Auflösung an Maximalwert

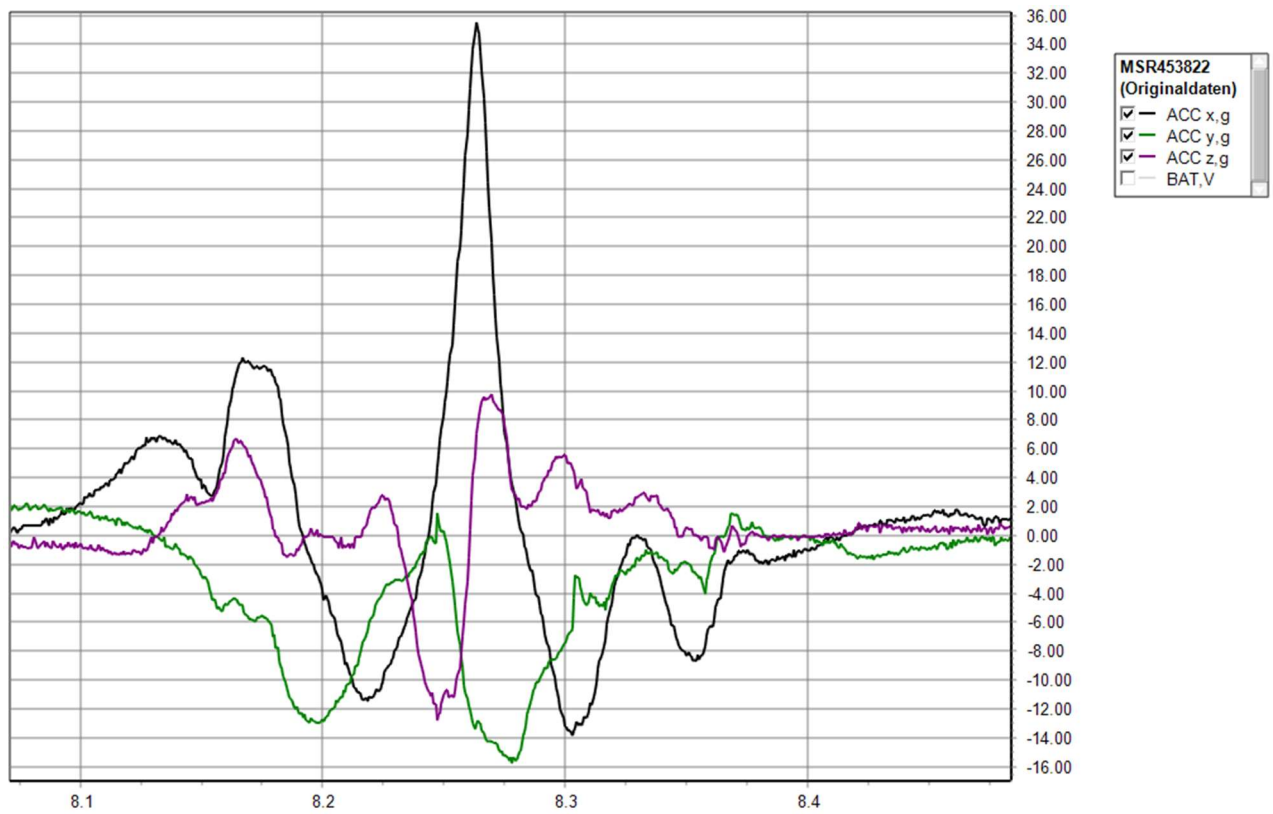


Abbildung 6 maximale Beschleunigung am Arm (Haraiotchi Uke Markus)

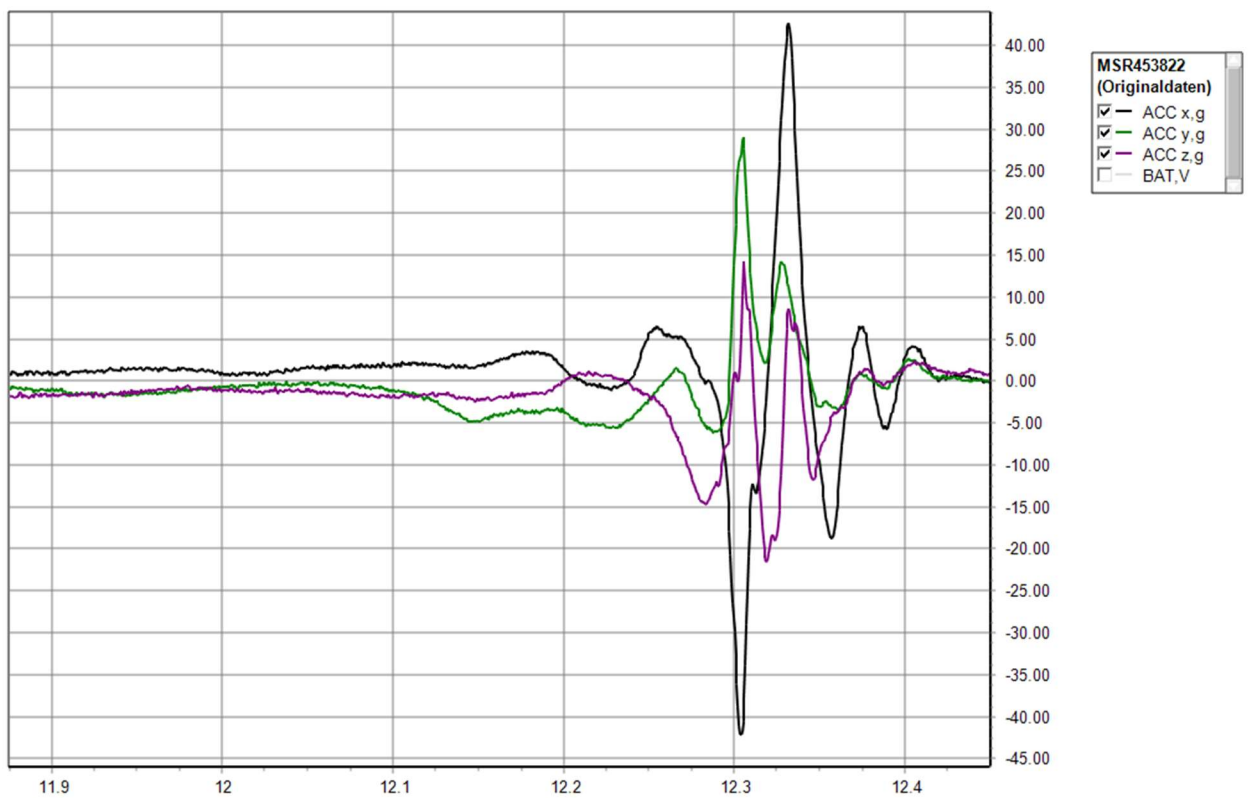


Abbildung 7 maximale Beschleunigung am Bein (Mae Geri This)

## Referenzmessung Videoanalyse

Um die Werte der Beschleunigungssensoren zu validieren, wird eine Referenzmessung mittels Videoanalyse durchgeführt.

Die Auswertung wird mittels dem Viana.Net Framework durchgeführt. Dieses Framework wurde für das Analysieren von einfachen Physikprojekten entwickelt. Aus diesem Grund werden nur Videos analysiert, auf welchen einfache Bewegungen durchgeführt werden und der Beschleunigungssensor mit dem orangen Kreis sichtbar ist. Ist dies nicht gewährleistet, kann keine genau Analyse durchgeführt werden, da die automatische Farberkennung nicht mehr funktioniert. Es muss darauf geachtet werden, dass nur Videos analysiert werden, in welchen der Stellungsfehler möglichst klein gehalten wird.

Um die Videos auszuwerten, müssen sie zuerst in möglichst kleine Abschnitte geschnitten werden. Zu lange Videos mit hoher Qualität und Bildrate führen oft zum Absturz des Programmes und verhindern eine Analyse. Weiter muss beachtet werden, dass die Bildrate und die Qualität nicht beeinträchtigt werden, wenn sie geschnitten werden. Im Menüpunkt „Video Info“ können die Eigenschaften des Videos überprüft werden.

Um eine Analyse durchzuführen, wird in einem ersten Schritt der Eichmassstab vermessen. Mithilfe dieser Messung kann Viana.Net die Berechnungen in die gewünschten Einheiten umwandeln. Nun kann das gewünschte Objekt, welches in unserem Fall orange markiert ist, über die Farberkennung ausgewählt werden. Es empfiehlt sich, dass zu verfolgende Objekt mit Neonfarben zu kennzeichnen, damit die einzelnen Datenpunkte zuverlässig bestimmt werden können. Falls ähnliche Farben innerhalb der Videoaufnahme auftauchen, kann der Suchbereich eingegrenzt werden, um grosse Sprünge und Fehlmessungen zu vermeiden. Passieren dennoch Fehlmessungen, kann man diese nach der automatischen Messung manuell anpassen. Sind alle Parameter eingestellt, kann der automatische Modus gestartet werden. Es wird Bild für Bild abgearbeitet und der orange Punkt wird verfolgt.

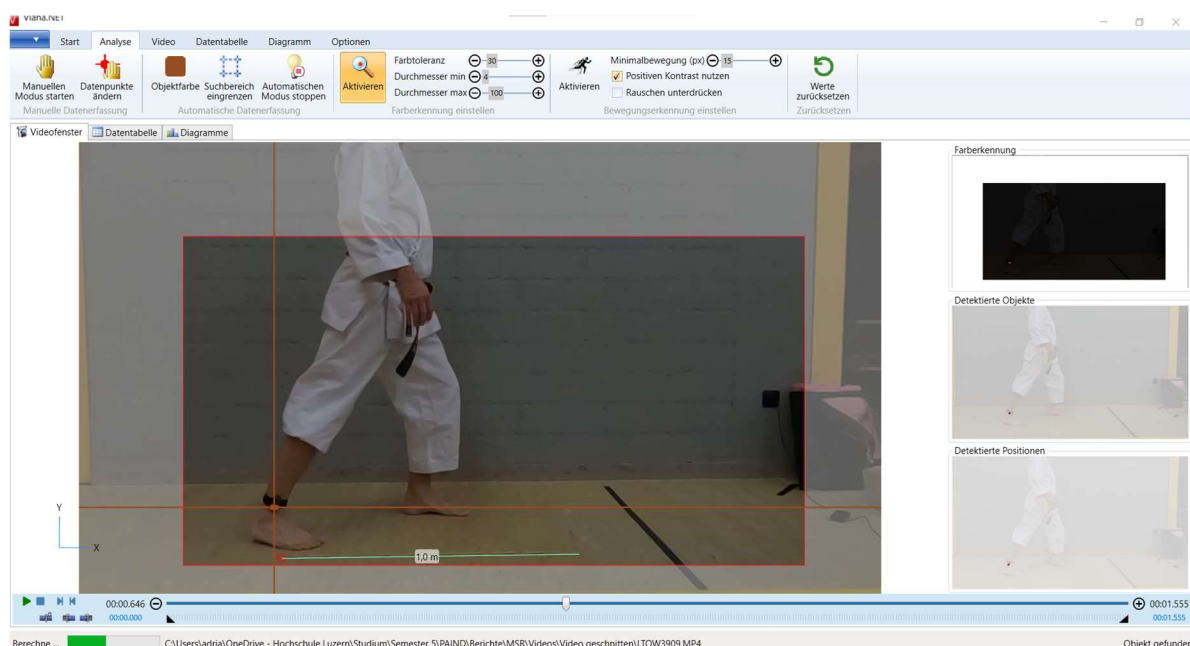


Abbildung 8 Viana.net Framework -> mittels Farberkennung wird Bild für Bild weiterschaltete und Weg, Geschw. und Beschl. berechnet. Das verfolgende Objekt ist neonorange gekennzeichnet.

## Datensätze

Während der Verlauf vom Weg sauber aufgezeichnet wird, sind bereits in der Geschwindigkeit kleine Sprünge sichtbar. Durch das doppelte Differenzieren des Auflösungs- und Schwerpunktfehlers wird der Datensatz nur bedingt aussagekräftig (siehe *Abbildung 9*).

Um dennoch eine Aussage treffen zu können, werden die Beschleunigungsdaten geglättet. Wie in *Abbildung 9* (rot) zu sehen ist, wird ein Verlauf der Beschleunigung sichtbar und die Beschleunigungswerte liegen im Bereich der vom Sensor gemessenen Daten. Um nur noch die Glättung mithilfe eines Diagrammes darzustellen und den sichtbaren Bereich einzugrenzen, werden die Daten mittels Matlab weiterverarbeitet.

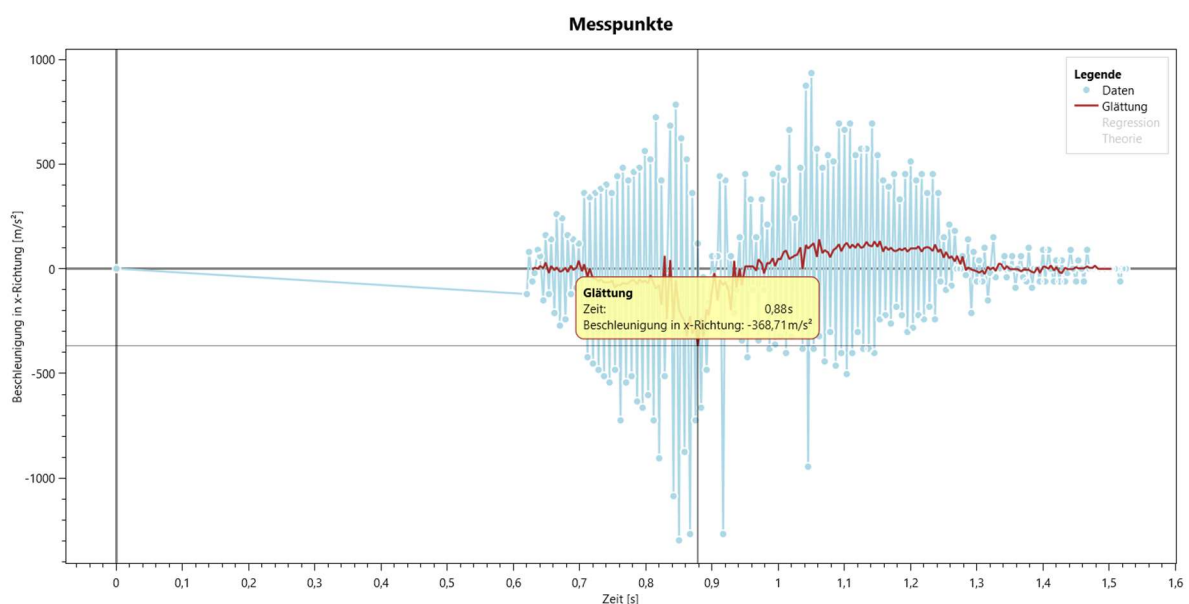


Abbildung 9 Diagramm der der berechneten Beschleunigungswerte von MaeGeriMarkus.MP4 mit Glättung über 6 Punkte (rot)

## Matlab

Da die berechneten Beschleunigungswerte durch die Fehler kaum aussagekräftig sind, werden sie mit einem gewichteten Mittel betrachtet (siehe *Abbildung 9* rote Kurve). Die Kurve im Viana.Net Diagramm ist über sechs Werte gemittelt. Die programmierte Version in Matlab ist der Glättung von Viana.Net ähnlich und wird über fünf Werte gemittelt. Dabei wird der aktuelle Wert 3-fach, die Werte 2 und 4 doppelt und die Werte 1 und 5 einfach gewichtet. Anschliessend wird der Wert durch 9 geteilt, um einen einfachen Wert zu erhalten.

```

%Mittlung mit m+1
m = 4;

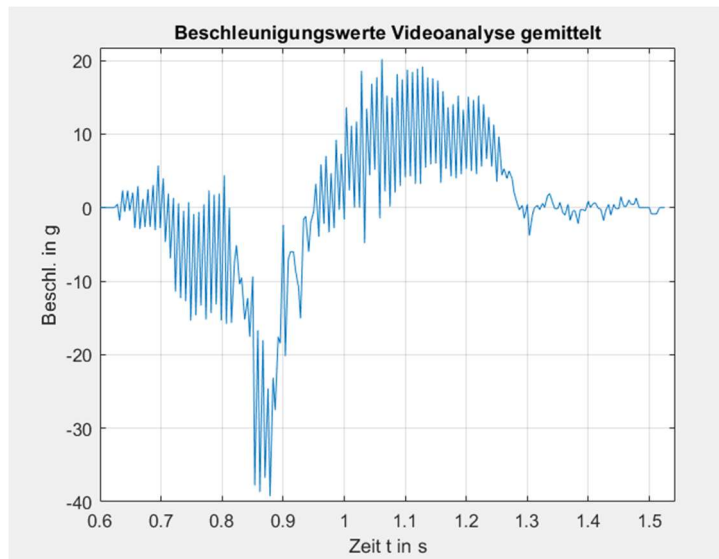
%gewichtetes Mittel 1 2 3 2 1
for i= (m/2)+1:(length(x_m)-((m/2)))
    n = m;
    for i2= -n/2:n/2
        if i2==0
            x_m(i,1)= x_m(i,1) + 3* x(i+2,1);
        elseif (i2==1)|| (i2==-1)
            x_m(i,1)= x_m(i,1) + 2* x(i+2,1);
        elseif (i2==2)|| (i2==-2)
            x_m(i,1)= x_m(i,1) + x(i+2,1);
        end
    end
    %/9.81 für Anzeige in G IG=9.81m/s^2
    x_m(i,1) = (x_m(i,1)/(m+5))/9.81;
end

%Polyfit der Daten für bessere Übersichtlichkeit
[p,~,mu] = polyfit(t, x_m, 40);
f = polyval(p,t,[],mu);

```

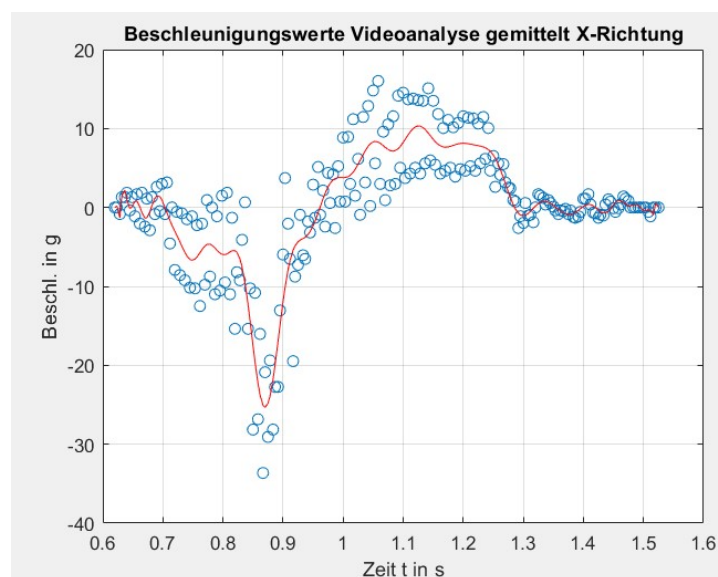
Abbildung 10 Auszug Matlab des gewichteten Mittels. Gemittelt wird über 5 Werte und Polyfit

In *Abbildung 11* wird der Verlauf der Beschleunigung besser sichtbar, es sind jedoch immer noch grosse Sprünge zwischen den einzelnen Messwerten sichtbar.



*Abbildung 11* Diagramm gewichtetes Mittel MaeGeriMarkus. Es wird ein Verlauf erkennbar

Um einen saubereren Verlauf dieser Kurve zu generieren, werden die geglätteten Messwerte zusätzlich mit einer Polyfitfunktion bearbeitet (siehe *Abbildung 12* rote Kurve). Nun lässt sich ein sauberer Verlauf erkennen, mit welchem die Daten der Sensoren verglichen werden können.



*Abbildung 12* Weitere Bearbeitung mittels Polyfitfunktion.



## Vergleich von Videoanalyse mit MSR 165 Daten

Um die Messungen vom MSR165 Beschleunigungssensor und der Videoanalyse zu vergleichen, müssen die Koordinatensysteme der beiden Systeme gleichgesetzt bzw. beachtet werden. Da Videoanalysen nur beim Mae Geri und Gyaku Zuki durchgeführt wurden, können nur die beiden Bewegungen mit den Werten der Beschleunigungssensoren verglichen werden.

Da sich das Koordinatensystem der Sensoren während der Mae Geris gegenüber dem Koordinatensystem der Videoanalyse um 90° dreht, wird ein Vergleich erschwert. Bei den Gyaku Zukis ist keine Verschiebung ersichtlich. Aus diesem Vergleich werden bessere Erkenntnisse erwartet. Auf eine Betragsbildung bzw. Anpassung dieser Verdrehung wird verzichtet.

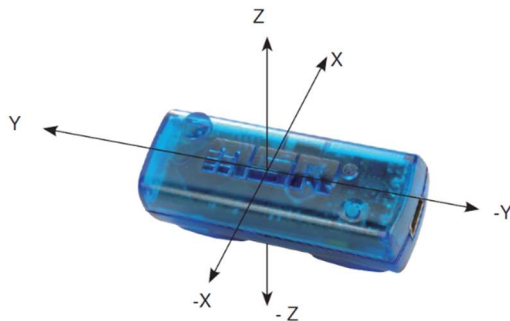


Abbildung 14 Koordinatensystem MSR 145/165 (MSR Electronics GmbH, 2021)

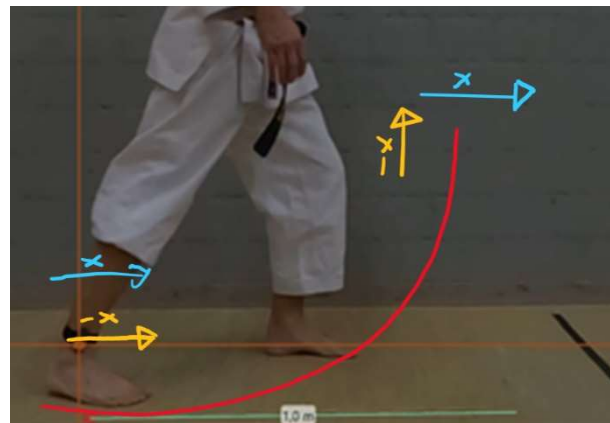


Abbildung 13 Verschiebung der Koordinatensysteme während Mae Geri. Blau Koordinatensystem Viana.Net orange Koordinatensystem MSR165

Vergleicht man die Diagrammverläufe des Beschleunigungssensors mit der Video-Referenzmessung (Tabelle 1) sind parallelen zu erkennen. Die Verläufe entsprechen in etwa denselben und die Maximalwerte werden zu den gleichen Zeitpunkten erreicht. Bei kleiner Verschiebung der Koordinatensysteme sind die parallelen auch bei den Mae Geris zu sehen. Die Maximalwerte der Videoanalyse sind kleiner ausgefallen, was jedoch auf die Glättung und die Polyfitfunktion zurückzuführen ist. Glättungen und Näherungen bringen immer einen gewissen Fehler mit sich, was zu einem Informationsverlust führt. Auf eine nähere Betrachtung, wie genau die Verläufe der Messwerte der Beschleunigungssensoren dem realen Verlauf entsprechen, wird aus Zeitgründen verzichtet.

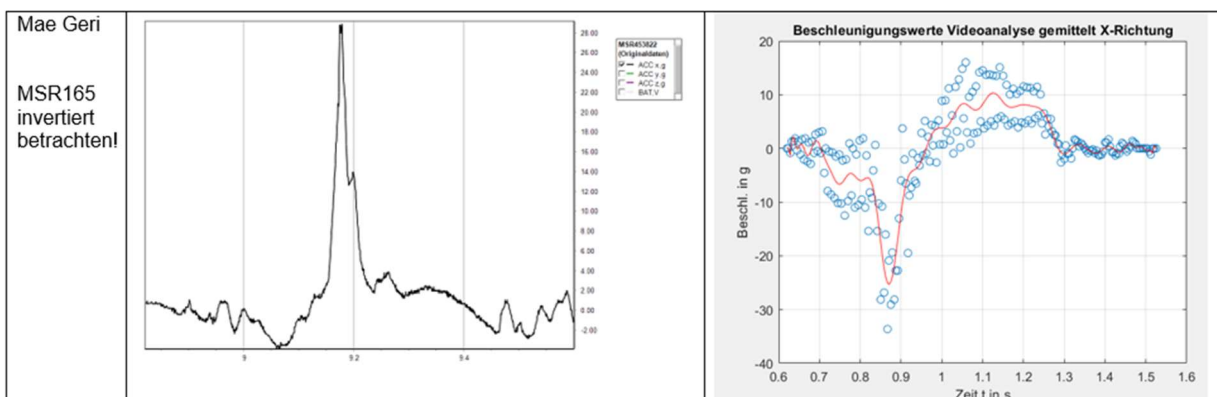


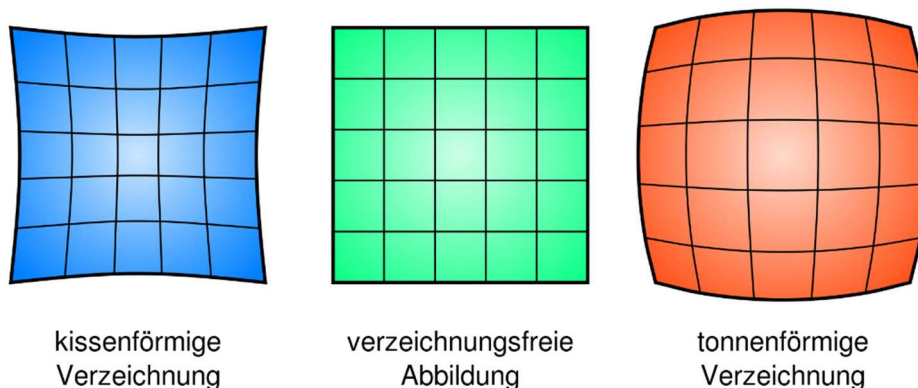
Abbildung 15 Ausschnitt Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. Kapitel Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. Vergleich Referenzmessung und Messung Beschleunigungssensoren

## Fehler Videoanalyse

Bei jeder physikalischen Messung entstehen Fehler. Daher ist eine Diskussion dieser Fehler erforderlich. Mögliche Fehler einer Videoanalyse sind:

- Verzerrung des Bildes durch zu geringe Bildrate/verfehlen der Messpunkte
- Fehler durch die Auflösung
- Wahl des Objektivs
- Stellung des Karatekas zur Kamera

Die Verzerrung und die ungenaue Wahl der Datenpunkte, wird in der Auswertung weiter behandelt. Als Objektiv darf kein Weitwinkel verwendet werden. Dadurch entsteht eine Verzerrung des Bildes und daraus folgen Fehler in der Berechnung von Weg, Geschwindigkeit und Beschleunigung. Um diesen Fehler möglichst gering zu halten, wird mit der engsten ObjektivEinstellung gefilmt (siehe *Abbildung 16*). Die geometrische Verzeichnung wird für unsere Berechnungen als grösster Abbildungsfehlerquelle betrachtet. Auf weitere Abbildungsfehler wie sphärische Aberrationen, Astigmatismus, Bildfeldwölbung und chromatische Aberrationen wird nicht weiter eingegangen.



*Abbildung 16 Geometrische Verzeichnung. Dieser Fehler wird durch die Kameraeinstellung Eng klein gehalten. Bei Weitwinkelobjektiven wird dieser Fehler verstärkt. (wikipedia, 2021)*

## Fehlerrechnung Auflösung/Schwerpunktbestimmung

Je höher die Auflösung einer Aufnahme, desto genauer können die einzelnen Punkte in Viana.Net Framework bestimmt werden. Die maximale Genauigkeit beträgt dabei ein Pixel. Der tatsächliche Fehler durch die Bestimmung der Schwerpunkte, welche von Viana.Net Automatisiert durchgeführt (mittels oranger Punkte) wird, ist dabei wesentlich grösser und muss geschätzt werden. Um diesen Fehler auszugleichen und eine Aussage über die abgeleitete Beschleunigung zu machen, wird das gewichtete Mittel verwendet.

Für die Berechnung eines möglichen Fehlers durch die Auflösung oder die Verschiebung des Schwerpunktes, wird der Fehler von einem Pixel betrachtet. Daraus lässt sich die folgende Form ableiten:

$$x = x_{gemessen} \pm \Delta x$$

$$x = x_{gemessen} \pm 1Pixel$$

Wobei hier x dem Weg plus des Fehlers entspricht. Mithilfe des Viana.Net Framework kann die Distanz eines Pixels bestimmt werden. Als Hilfe dient dafür der Eichmassstab, welcher für die Berechnungen verwendet wird. Als Referenz wird dafür das GyakuZukiMarkus.MP4 Video verwendet. Bei einer Auflösung 2700 Pixel und 1.49m Bildbreite, entspricht dies einer Länge von 1.812mm pro Pixel.

Berechnet man hier raus eine Verschiebung bei Viana, muss berücksichtigt werden, dass der Fehler sich aufaddiert.

$$s = x_2 - x_1 = (x_{2gem} - x_{1gem}) \pm 2Pixel$$

Im Falle des Gyaku Zuki-Videos erhält man 3,624mm. Interessant für Analysen ist vor allem der relative Fehler. Der relative Fehler ergibt sich aus dem Verhältnis aus absolutem Fehler und gemessener Strecke. Der Arm bewegte sich bei dem Video über einen Teil der Bildfläche. Die Strecke, die der Sensor in x-Richtung zurückgelegt hat, entspricht ungefähr 1270 Pixel. Der relative Fehler  $\Delta s_{rel.}$  ergibt sich somit als:

$$\Delta s_{rel.} = \frac{\Delta s}{s_{gem.}} = \frac{2 Pixel}{1270 Pixel} = 0.16\%$$

Dieser minimale Fehler wäre nur unter optimalen Bedingungen möglich, wenn alle weiteren Fehler (zufällige und systematische Fehler (Verzerrungen...)) ausgeschlossen werden könnten. Leitet man nun aus den Strecken die Geschwindigkeiten ab, muss man den Differenzenquotienten berechnen. Hierbei muss der Fehler mit Hilfe des Fehlerfortpflanzungsgesetzes berechnet werden:

$$\Delta v = \left| \frac{\partial v(x, t)}{\partial x} \right| \Delta x + \left| \frac{\partial v(x, t)}{\partial t} \right| \Delta t$$

Da der Fehler in der Zeitmessung gegen den in der Ortsmessung vernachlässigt werden kann, erhält man bei Videos mit 240 Bildern pro Sekunde:

$$\Delta v = \left| \frac{1}{t_2 - t_1} \right| \Delta s = \pm \frac{2 Pixel}{t_2 - t_1} = \pm 480 \frac{Pixel}{s} \approx 0.874 \frac{m}{s}$$

Da die Zeitintervalle bei Videoanalysen in der Regel immer recht klein sind, erhält

man häufig ungenaue Geschwindigkeitsdiagramme. Für die Beschleunigungen wird der Fehler noch grösser:

$$\Delta a = \left| \frac{1}{t_2 - t_1} \right| \Delta v = \pm \frac{480 \text{ Pixel}}{(t_2 - t_1)} = \pm 115'200 \frac{\text{Pixel}}{\text{s}^2} \approx 209 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Man sieht sehr eindrucksvoll, wie stark der Fehler vom gewählten Zeitintervall abhängt. Eine Vergrößerung der Zeitintervalle würde die Analysen jedoch um viele Informationen beschneiden. Man könnte somit zwar eine glattere Kurve erzeugen, dies würde jedoch lediglich eine äusserst ungenaue Durchschnittsgeschwindigkeit wiedergeben. Da diese dementsprechend stärker von der Momentangeschwindigkeit entfernt liegen kann, hätte man bei realen Bewegungen (bei denen die Geschwindigkeit nicht gerade konstant oder gleichmässig beschleunigt ist) nichts gewonnen. (Gabriel, 2005)

### Fehlerrechnung Stellung Karateka

Steht der Karateka nicht parallel zur Kamera entsteht ein Fehler. Je grösser der Winkel, desto kleiner wird die von Viana.Net vermessen Strecke. Bei einem Winkel von  $90^\circ$  zur Kamera, wird eine Messung unmöglich. Die Skizze in *Abbildung 17* zeigt eine Verschiebung der Position um  $10^\circ$  und der entstehende Fehler  $\Delta l$ . Die x-Achse entspricht der horizontalen Sicht der Kamera und die z-Achse der Bewegung im Raum. Die y-Achse ist hier nicht zu sehen und würde der vertikalen Achse der Kamera entsprechen.

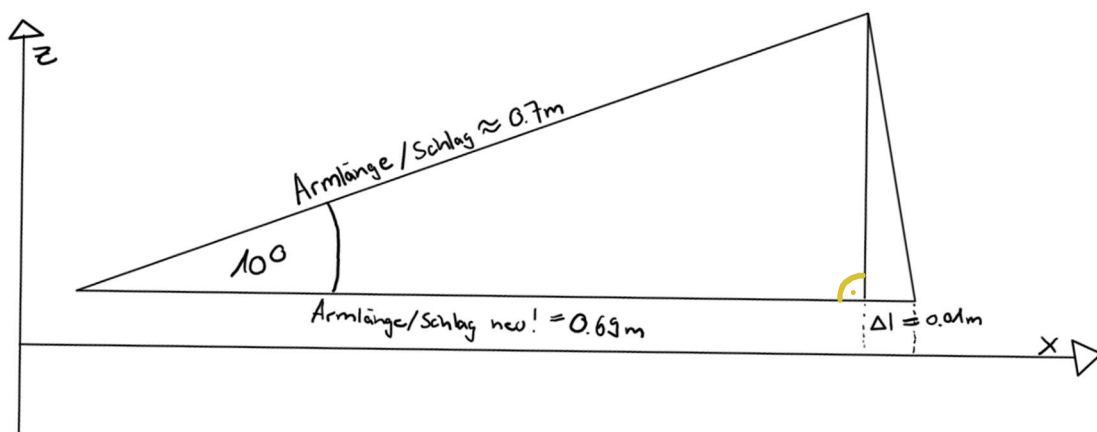


Abbildung 17 Skizze Veränderung der Armlänge, wenn Schlag nicht parallel ausgeführt.

Bewegt sich der Karateka wie in der Skizze in einem Winkel von der Kamera weg wird die Armlänge im 2D-Bild der Kamera verkürzt. Diese Verkürzung beeinflusst die Rechnungen von Weg, Geschwindigkeit und Beschleunigung.

Für die Berechnung wurde aus dem GyakuZukiMarkus.MP4 Video eine Schlaglänge von 0.7m herausgelesen. Für die Fehlerberechnung wird ein Fehlerwinkel von  $10^\circ$  angenommen. Über den Satz des Pythagoras kann die neue Schlaglänge und der daraus resultierende Fehler berechnet werden.

$$Schlag_{neu} = \cos(10^\circ) * 0.7m = 689.37cm$$

$$\Delta l = Schlag_{alt} - Schlag_{neu} = 10.63mm$$

Mit einer Schlagdauer von 0.3s und 240 fps, wird dieser Fehler auf 72 Datenpunkte verteilt. Bei einem angenommenen linearen Verlauf des Schlages, wird jede Messung um 0.15mm beeinträchtigt.

$$x = x_{gemessen} - \Delta fehler$$

$$x = x_{gemessen} - 0.15mm$$

Mithilfe des Fehlerfortpflanzungsgesetzes kann der Fehler der Geschwindigkeit und Beschleunigung berechnet werden.

$$s = x_2 - x_1 = (x_{2gem} - x_{1gem}) - 0.3mm$$

$$\Delta v = \left| \frac{1}{t_2 - t_1} \right| \Delta s = - \frac{0.3mm}{t_2 - t_1} = -72 \frac{mm}{s} = -0.07 \frac{m}{s}$$

$$\Delta a = \left| \frac{1}{t_2 - t_1} \right| \Delta v = - \frac{0.072m}{(t_2 - t_1)} = -17.28 \frac{m}{s^2}$$

Der entstehende Fehler durch einen Winkel von  $10^\circ$  wirkt sich ebenfalls auf die Berechnung aus. Bei kleinem Winkel wird sich dieser Fehler kaum bemerkbar machen. Steigt der Winkel jedoch weiter an, ist zu erkennen, dass bereits bei  $10^\circ$  Verschiebung der Fehler 1/10 des Auflösungs- und Verschiebungsfehlers annimmt.

## Zusammenfassung

Mithilfe des MSR165 Sensormodules und der Referenzmessung mittels Videoanalyse wurde eine Bestimmung der maximalen G-Kräfte ermöglicht. Die maximalen Beschleunigungen, welche während Karateka auftreten, liegen in einem Bereich von 40-50g. Die Beschleunigungswerte der Videoanalyse sind aufgrund der möglichen Fehler und der Bearbeitungsmethoden mit einem Informationsverlust zu betrachten. Aus diesem Grund ist eine Bestimmung der Maximalwerte mittels Videoanalyse nur beschränkt möglich. Es lässt sich jedoch der Verlauf der Beschleunigung in Abhängigkeit der Zeit erkennen.

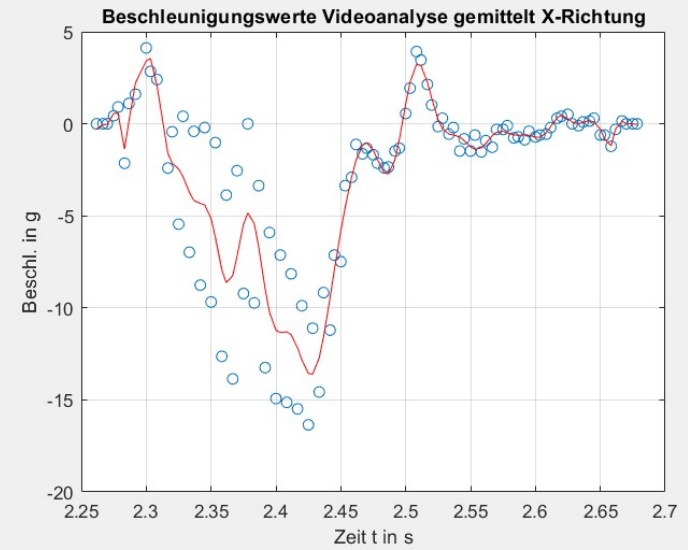
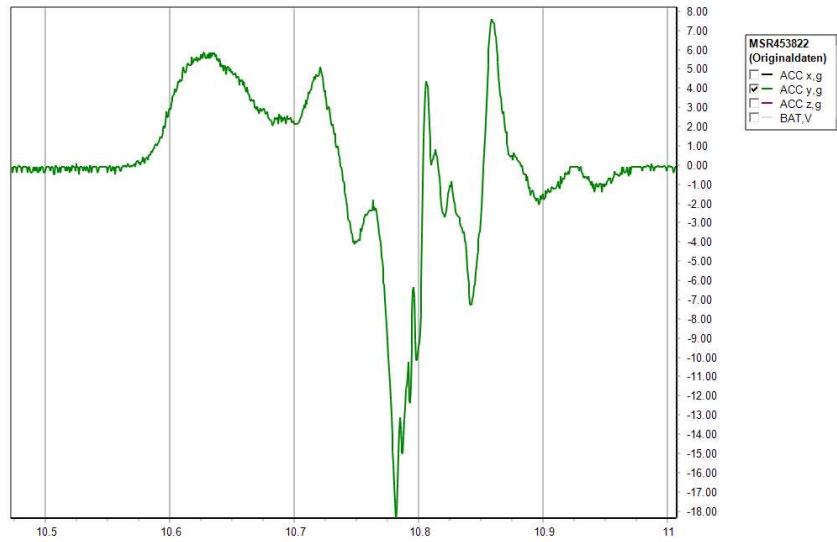
Die Daten des Beschleunigungssensor ergeben saubere Diagrammverläufe, welche eine Analyse ermöglichen. Mit einer Auflösung von 1.6 kHz werden bei Bewegungen von 0.5s 800 Datenpunkte generiert, wobei die gemessenen Maximalwerte mit mehreren Messungen bestätigt werden. Einzig die Genauigkeit von +/- 5g kann ein Vergleich von Bewegungen erschweren. Eine genauere Betrachtung dieser Genauigkeit und ihrer Einflüsse ist für einen genauen Vergleich nötig.

Um die Daten des MSR165 Sensors weiter auszuwerten und mit dem realen Verlauf der Beschleunigung des Körperteiles zu vergleichen, ist die Bewegung des Sensors auf der Haut und ihren Einfluss auf die Messung näher zu betrachten.

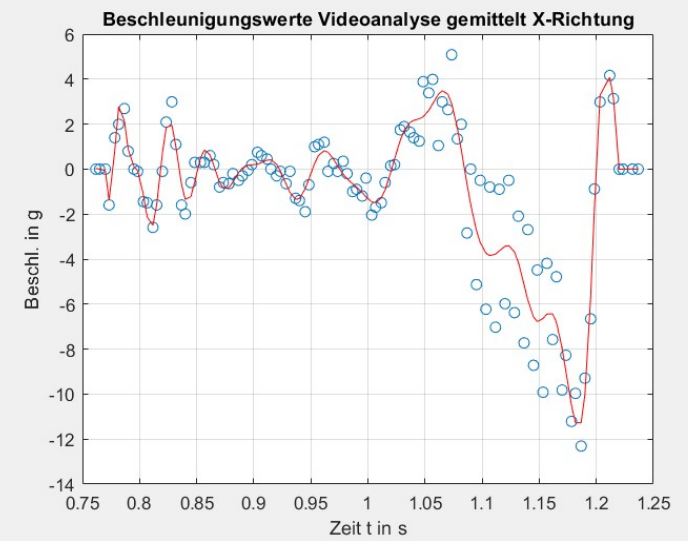
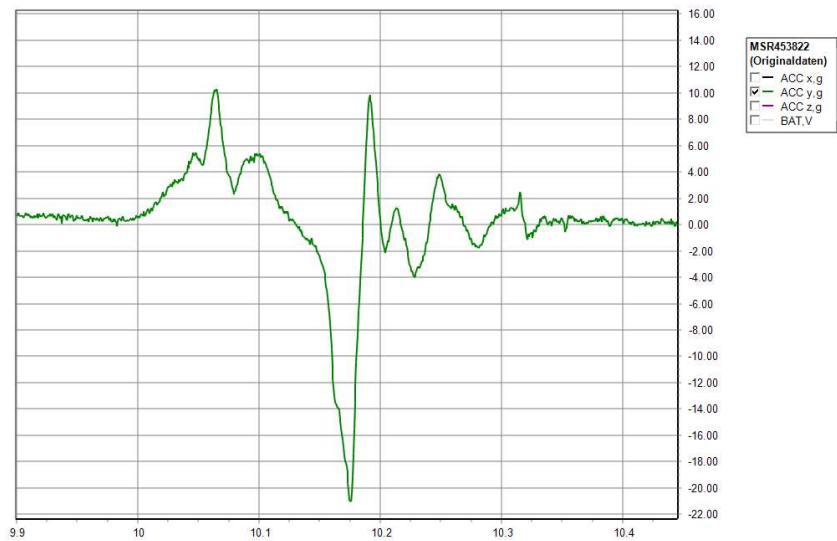
Tabelle 1 Vergleich MSR165 Beschleunigungssensor und Videoanalyse

Bewegung	Messung MSR 165	Auswertung Videoanalyse
<p>Andrew</p> <p>Kisami</p> <p>Zuki</p>	<p>MSR453822 (Originaldaten)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ACC x.g</li> <li>ACC y.g</li> <li>ACC z.g</li> <li>BAT.V</li> </ul>	<p>Beschleunigungswerte Videoanalyse gemittelt X-Richtung</p> <p>Beschl. in g</p> <p>Zeit t in s</p>
<p>Mae Geri</p> <p>MSR165 invertiert betrachten!</p>	<p>MSR453822 (Originaldaten)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ACC x.g</li> <li>ACC y.g</li> <li>ACC z.g</li> <li>BAT.V</li> </ul>	<p>Beschleunigungswerte Videoanalyse gemittelt X-Richtung</p> <p>Beschl. in g</p> <p>Zeit t in s</p>
<p>Markus</p>		

Gyaku  
Zuki



Kisami  
Zuki



Mae Geri

MSR165  
invertiert  
betrachten!

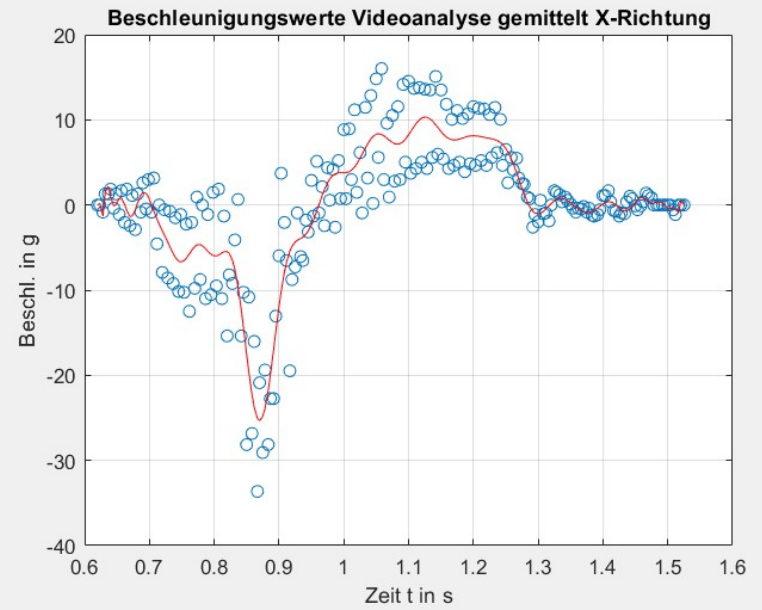
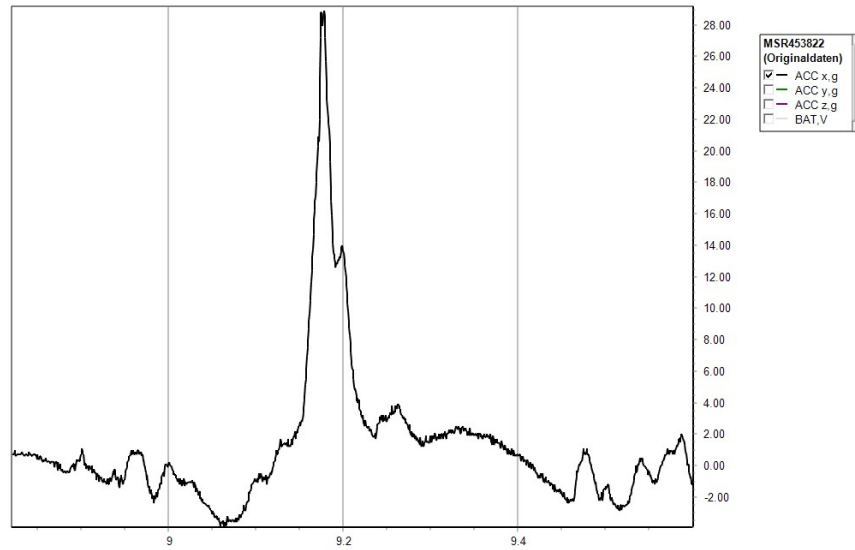
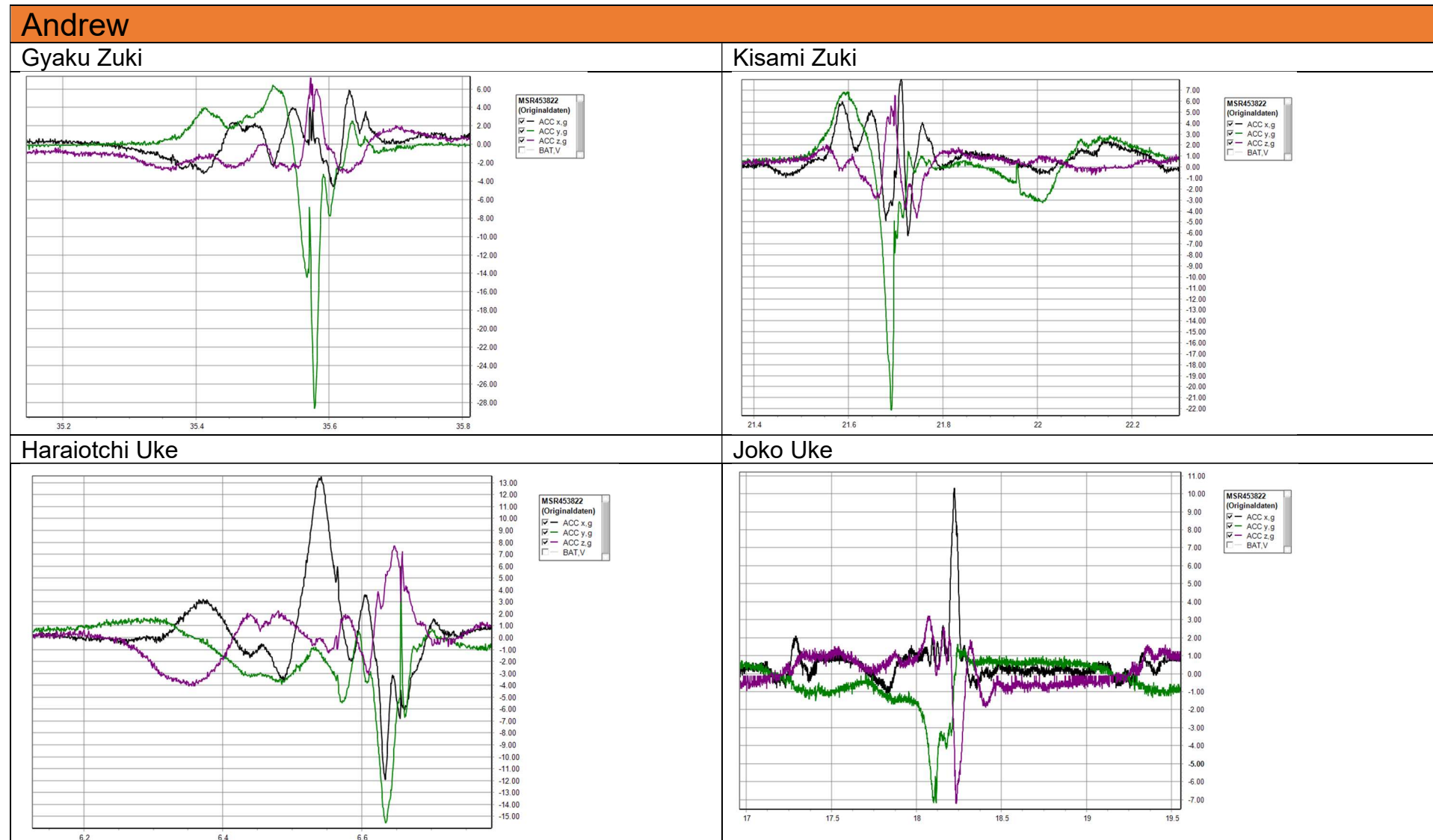
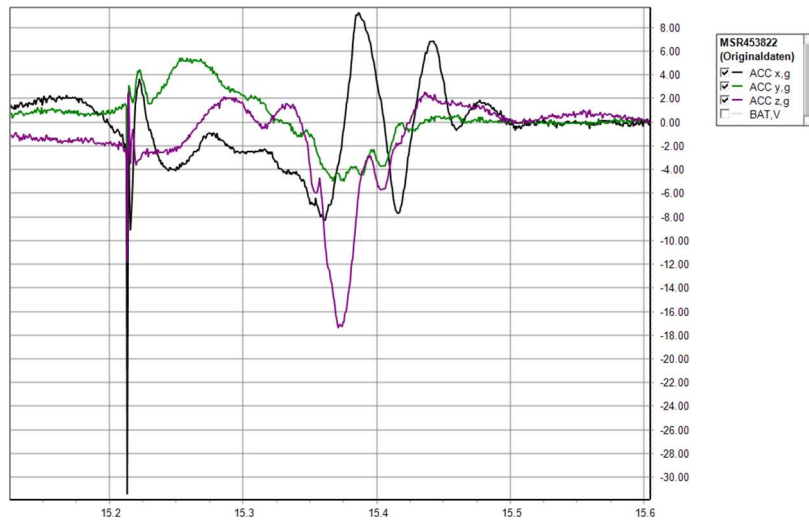




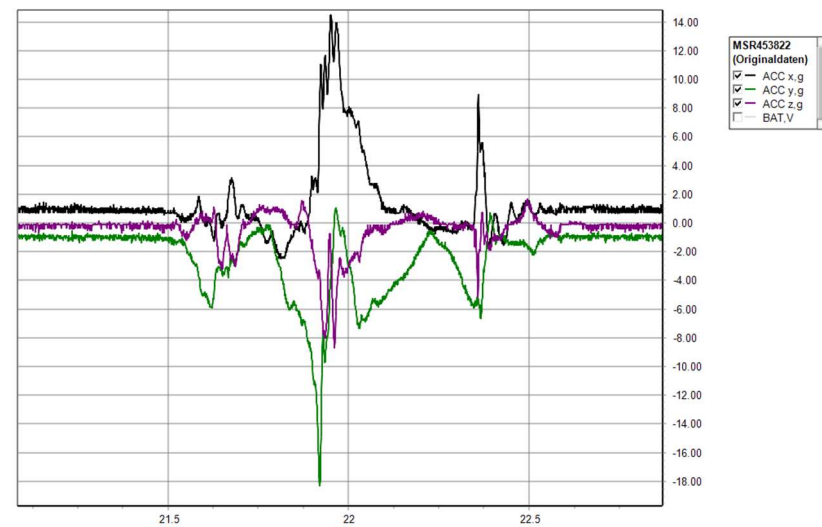
Tabelle 2 MSR165 Messdaten der Karatebewegungen



Age Uke

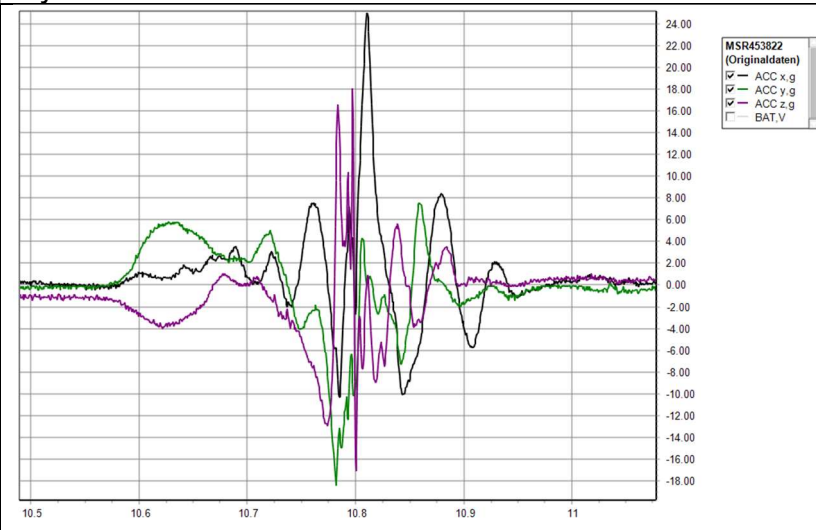


Mae Geri

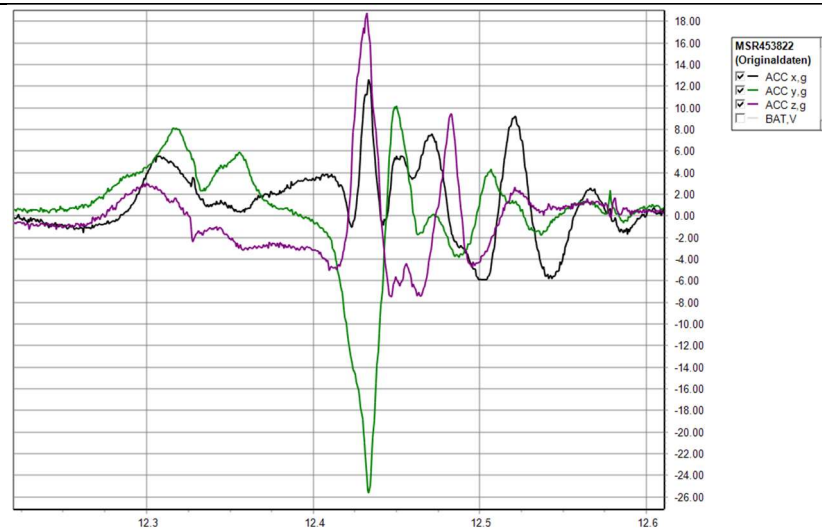


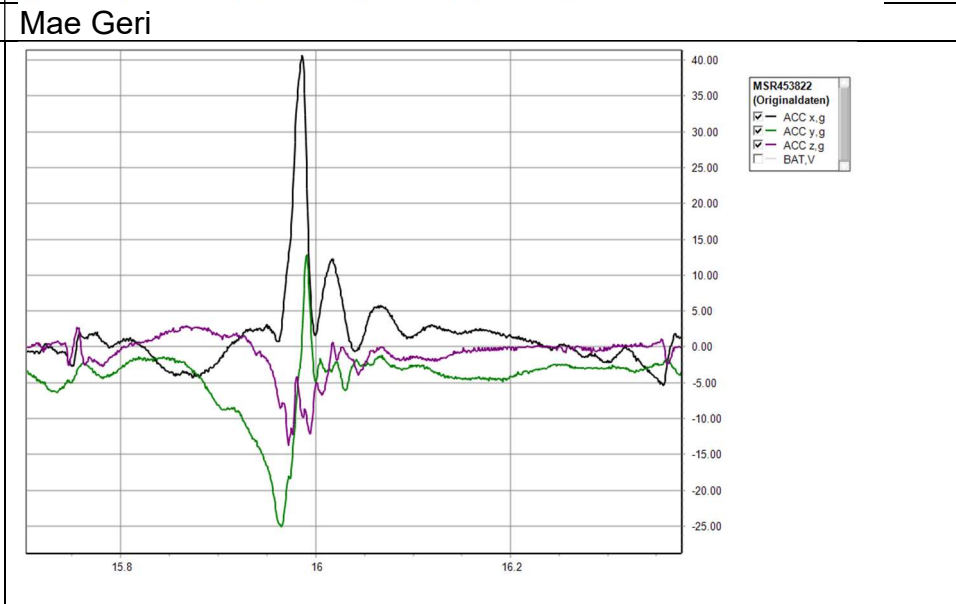
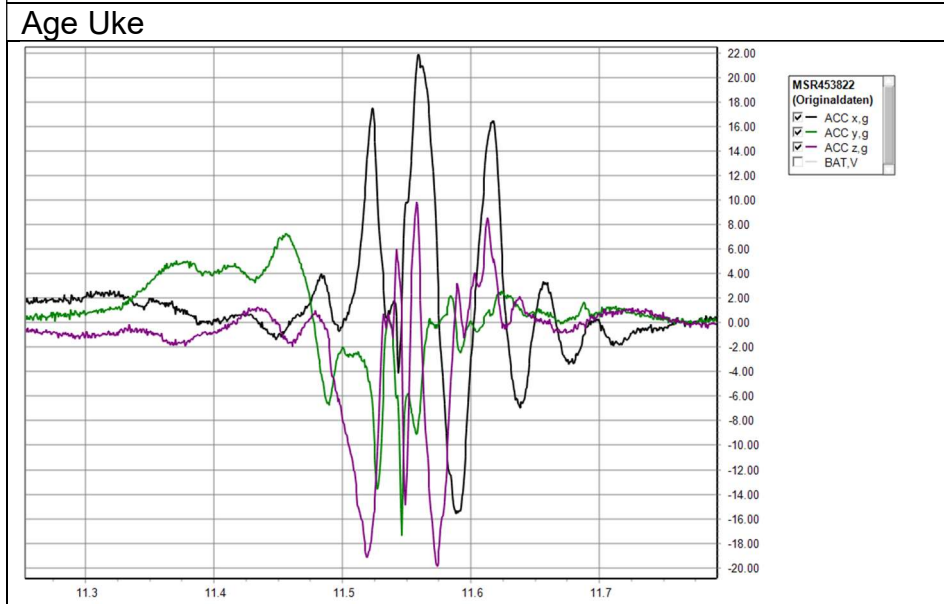
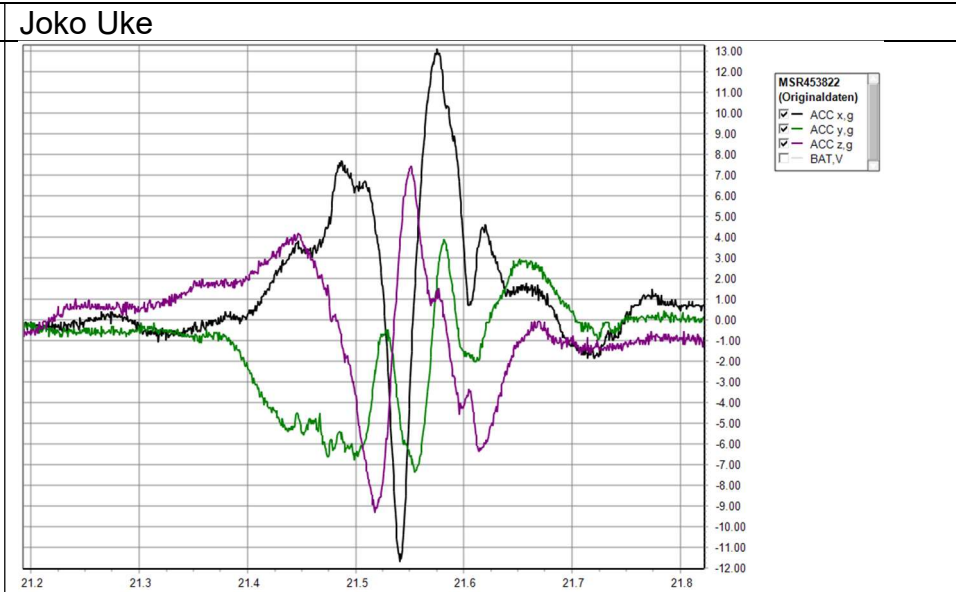
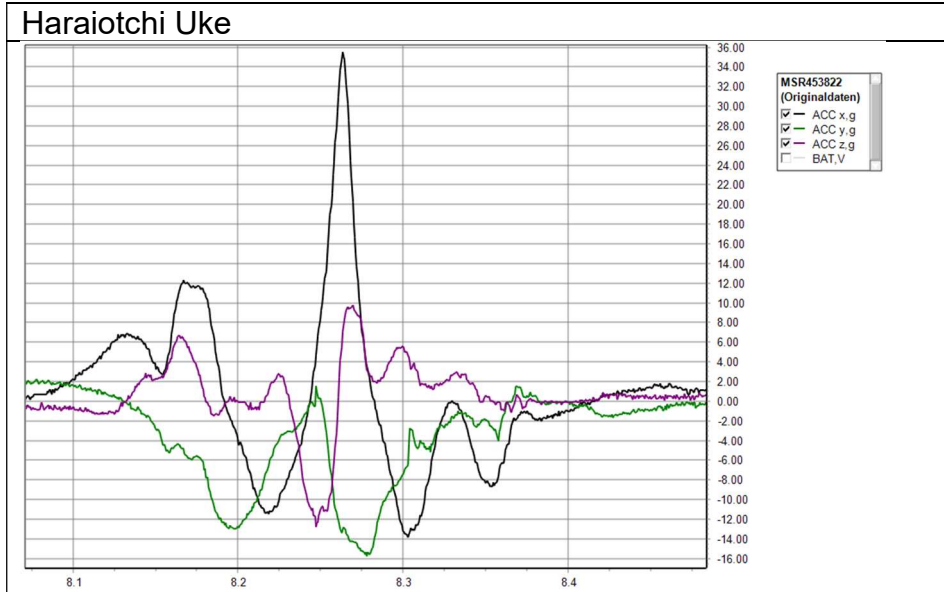
Markus

Gyaku Zuki



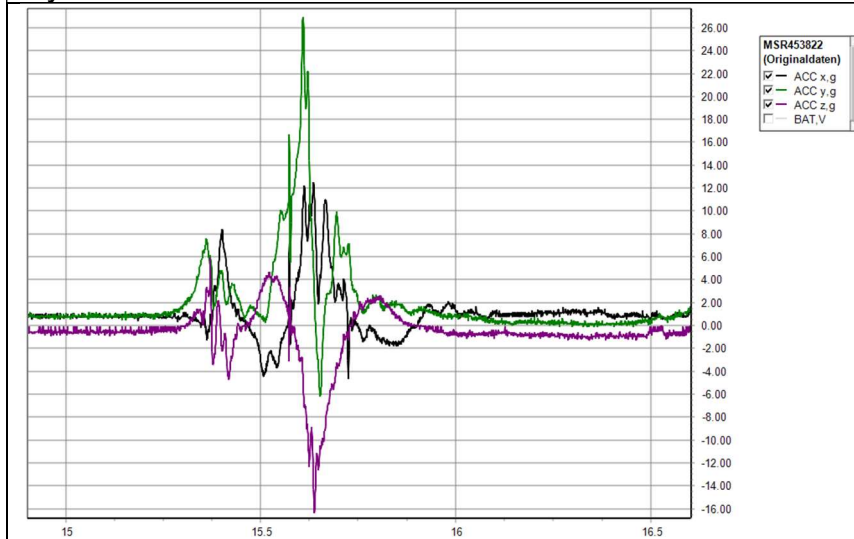
Kisami Zuki



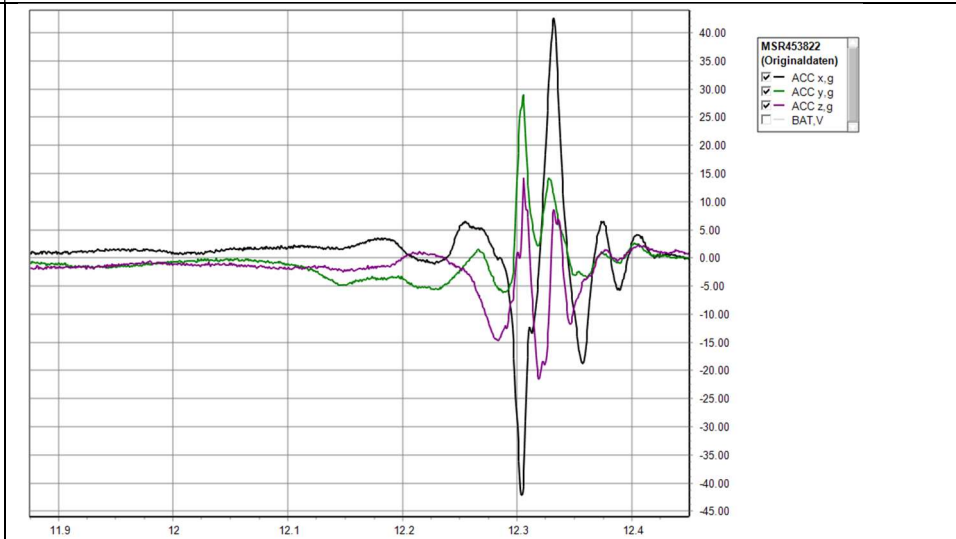


This

Gyaku Zuki



Mae Geri



## Abbildungsverzeichnis und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1 Versuchsaufbau G-Kräfte: Bewegungen werden vor grauer Wand durchgeführt	1
Abbildung 2 technische Daten MSR 165 Datenlogger (msr, 2021)	1
Abbildung 3 Parametereinstellung MSR 165 Beschleunigungssensor	2
Abbildung 4 Ausschnitt der Tabelle mit allen aufgezeichneten Messungen	2
Abbildung 5 Beurteilung der Auflösung an Maximalwert	3
Abbildung 6 maximale Beschleunigung am Arm (Haraiotchi Uke Markus)	4
Abbildung 7 maximale Beschleunigung am Bein (Mae Geri This)	4
Abbildung 8 Viana.net Framework -> mittels Farberkennung wird Bild für Bild weitergeschaltete und Weg, Geschw. und Beschl. berechnet. Das verfolgende Objekt ist neonorange gekennzeichnet.	5
Abbildung 9 Diagramm der berechneten Beschleunigungswerte von MaeGerimarkus.MP4 mit Glättung über 6 Punkte (rot)	6
Abbildung 10 Auszug Matlab des gewichteten Mittels. Gemittelt wird über 5 Werte und Polyfit	6
Abbildung 11 Diagramm gewichtetes Mittel MaeGerimarkus. Es wird ein Verlauf erkennbar.	7
Abbildung 12 Weitere Bearbeitung mittels Polyfitfunktion.	7
Abbildung 13 Verschiebung der Koordinatensysteme während Mae Geri Blau Koordinatensystem Viana.Net orange Koordinatensystem MSR165	8
Abbildung 14 Koordinatensystem MSR 145/165 (MSR Electronics GmbH, 2021)	8
Abbildung 15 Ausschnitt Tabelle 5 Kapitel 7.6.2 vergleich Referenzmessung und Messung Beschleunigungssensoren	8
Abbildung 16 Geometrische Verzeichnung. Dieser Fehler wird durch die Kameraeinstellung Eng klein gehalten. Bei Weitwinkelobjektiven wird dieser Fehler verstärkt. (wikipedia, 2021)	9
Abbildung 17 Skizze Veränderung der Armlänge, wenn Schlag nicht parallel ausgeführt.	11
Tabelle 1 Vergleich MSR165 Beschleunigungssensor und Videoanalyse	13
Tabelle 2 MSR165 Messdaten der Karatebewegungen	16

## Literaturverzeichnis

ANALOG DEVICES. (2021). *ADXL372 Datasheet*. -: ANALOG DEVICES.

Gabriel, P. (2005). *Physikalische Analyse von Schwungebewegungen im Alltag*. Essen: Universität Duisburg.

wikipedia. (14. 12 2021). Von wikipedia.com: <https://de.wikipedia.org/wiki/Abbildungsfehler> abgerufen