

Einleitung

Fernöstliche Kampfsportarten, wie Kung-Fu oder Karate stellen für viele Europäer ein unglaubliches Phänomen dar, da Menschen, die sie praktizieren, schier unglaubliche Dinge zustande bringen, die für den bloßen Betrachter schon fast unmöglich erscheinen. Im Fernsehen sieht man oft, dass ein Kämpfer stabile Bretter oder sogar Steine mit bloßer Hand zertrümmert. Dies erweckt zwar bei vielen den Anschein von transzendenten, übermenschlichen Kräften, aber die Ursache für diese Fähigkeiten liegt in jahrelanger Übung und regelmäßigem Training der perfekten und ausgefeilten Technik.



Ich bin selbst sehr interessiert an Kampfsport, vor allem Karate. So bin ich auf die Idee gekommen, einmal selbst die Wirkung eines solchen Karateschlags mit Hilfe einer Videoanalyse durch eine High-Speed-Kamera auf ihre physikalischen Ursachen zu untersuchen und zu analysieren. Bei dieser Art der Untersuchung ergeben sich zwei Vorteile, da sie mein Karatehobby mit meinem Interesse an technischen Geräten wie Computer und Kamera, sowie der Photographie in Verbindung bringt.

Glücklicherweise ist es mir gelungen, eine Firma zu finden, die mir ihre High-Speed-Kamera zu Verfügung gestellt hat und Akteure, die mir als Probanden bereit gestanden sind.

An dieser Stelle möchte ich mich bei Herrn Thomas Welker und der Firma Suspa Holding, Crash-Management-Systems bedanken, die mir die Aufnahmen mit der High-Speed-Kamera ermöglicht haben, da es sich hierbei um eine sehr kostenintensive Investition gehandelt hätte. Außerdem bei meinen beiden Videoakteuren Mike Kern, der mir mit seinem Verweis an Herrn Welker und die Firma Suspa sehr geholfen hat, und Alfred Heubeck.

Für die Arbeit habe ich mir allerdings nur eine Karatetechnik herausgegriffen, da es im Karate ein praktisch unendliches Spektrum an verschiedenen Techniken gibt und es den Rahmen dieser Facharbeit bei weitem sprengen

würde mehrere Bewegungen zu untersuchen. Als Technik habe ich den Gya-ku-Zuki ausgewählt, denn dieser stellt einen der wichtigsten Fauststöße dar. Der Gyaku-Zuki wird mit der Gegenhand zum vorderen Knie ausgeführt. (Japanisch: Gyaku = Gegenseitig; Zuki = Fauststoß)



Hauptteil

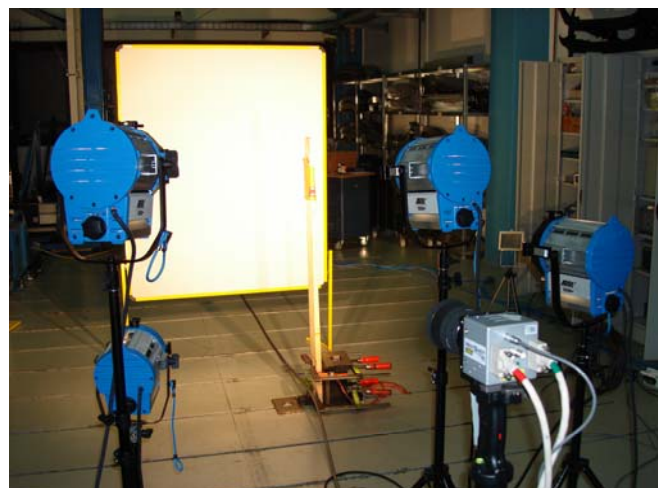
Versuch

Wie in der Einleitung schon erwähnt, möchte ich die Karateschläge anhand einer Videoanalyse am Computer auswerten. Zunächst soll ein kleiner Überblick über den Versuchsaufbau gegeben werden.

Versuchsaufbau

Der Aufbau des Versuchs ist eigentlich vergleichsweise simpel. Die drei Schlagtestpersonen, Mike Kern, Alfred Heubeck und Tassilo Heubeck schlagen nacheinander auf das vor ihnen eingespannte Makiwara (Schlagbrett) und werden dabei mit der High-Speed-Kamera gefilmt. Diese Videos werden im Anschluss auf ein geeignetes Format konvertiert und mithilfe des Videoanalyseprogramms „Coach 6“ markiert und ausgewertet.

Vor Beginn der Auswertung der Videos sind noch ein Paar Bemerkungen und genauere Beschreibungen zu den verwendeten Mitteln und den drei Schlagtestpersonen zu geben.



Die verwendeten Mittel und mitwirkenden Personen

Die Videos

Alle verwendeten Videos wurden mit der gleichen High-Speed-Kamera aufgenommen, nämlich der Hotshot 1280. Sie wurden auch alle mit den gleichen Kameraeinstellungen aufgenommen, das heißt, sie

- haben alle eine Bildfrequenz von 500 Bildern pro Sekunde bei einer Auflösung von 1280x1024 Pixel.
- sind alle mit einer Verschlusszeit von 1/2000 Sekunde aufgenommen.

Die drei Schlagtestpersonen

Für meine spätere Auswertung ist es an dieser Stelle notwendig die drei Schlagkandidaten genauer hinsichtlich ihres Gewichts, Zeitraum der Kampfsportausübung und auch ihrer Graduierung zu beschreiben.

Der erste Schlagkandidat, Alfred Heubeck (wird von hier an nur noch mit Person1 bezeichnet), ist ein sehr erfahrener Kämpfer, denn er betreibt den Karatekampfsport schon seit 45 Jahren. Aufgrund seiner weit zurückreichenden Erfahrung und des vielen Trainings hat er bereits den fünften Dan (5. schwarzer Gurt) erreicht. Sein Kampfgewicht beträgt 91 kg.

Da aber für die Untersuchung seines Schlags nicht die komplette Körpermasse eine Rolle spielt, sondern nur die Masse bestimmter Teile greife ich auf die biomechanische Massenverteilung von D. D. Donskoi aus dem Buch „Grundlagen der Biomechanik“ zurück

Die Masse von Person1 wird nach folgender Tabelle berechnet:

Körperteil	Masse in %	Masse in kg bei Person1
Faust	1	0,91 kg
Unterarm	2	1,82 kg
Oberarm	3	2,73 kg
Rumpf	43	39,1 kg
Kopf	7	6,37 kg
Oberschenkel	12	10,9 kg
Unterschenkel	5	4,55 kg
Fuß	2	1,82 kg
Gesamtkörper	100	91 kg



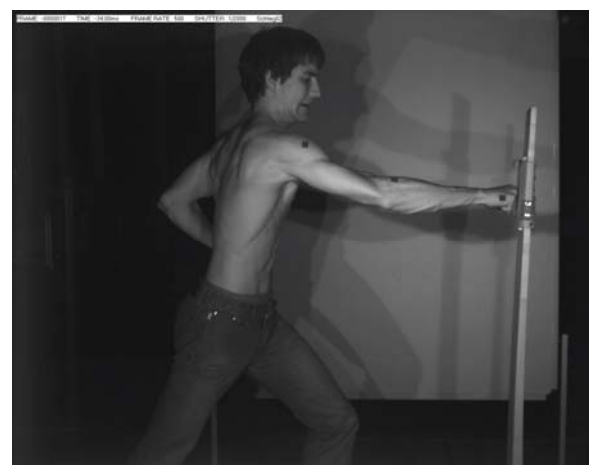
Bei meinem zweiten Schlagkandidaten handelt es sich um Mike Kern (wird von hier nur noch als Person2 bezeichnet. Er betreibt seit knapp 20 Jahren den Kampfsport Karate und ist mit dem zweiten Dan, also dem zweiten Schwarzgurt, graduiert. Sein Komplettgewicht zur Zeit des Aufnehmens beträgt 102 kg, daher ergeben sich bei der biomechanischen Massenverteilung folgende Werte:

Körperteil	Masse in %	Masse in kg bei Person2
Faust	1	1,02 kg
Unterarm	2	2,04 kg
Oberarm	3	3,06 kg
Rumpf	43	43,9 kg
Kopf	7	7,14 kg
Oberschenkel	12	12,2 kg
Unterschenkel	5	5,1 kg
Fuß	2	2,04 kg
Gesamtkörper	100	102



Bei der dritten Person handelt es sich um Tassilo Heubeck (wird von nun an nur noch als Person3 bezeichnet). Er betreibt seit ca. 10 Jahren Karate und ist mit dem ersten Kyu graduiert, also dem letzten Farbgurt vor dem Schwarzgurt. Er wiegt zu Zeitpunkt der Aufnahmen 71 kg. Für ihn ergibt sich also folgende Verteilung:

Körperteil	Masse in %	Masse in kg bei Person3
Faust	1	0,71 kg
Unterarm	2	1,42 kg
Oberarm	3	2,13 kg
Rumpf	43	30,5 kg
Kopf	7	4,97 kg
Oberschenkel	12	8,52 kg
Unterschenkel	5	3,55 kg
Fuß	2	1,42 kg
Gesamtkörper	100	71 kg



Das Makiwara

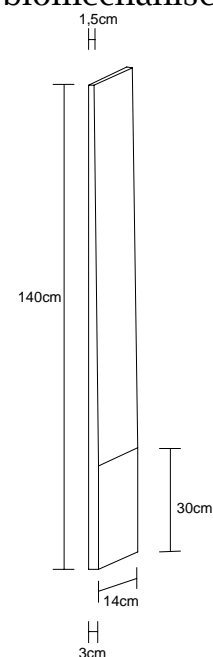
Das Makiwara ist das Schlagbrett, auf das in meinen Videos geschlagen wird. Es ist aus einem sehr elastischen Holz gefertigt, um die hohe Anzahl der Schläge unbeschadet zu überstehen ohne dabei aber die Faust des Trainierenden zu verletzen. Es ist das traditionelle Trainingsgerät aus Okinawa, der Geburtsstätte des Shotokan- Karate, zur Verbesserung der eigenen Schlagstärke und zur Abhärtung der Faust.

In meinem Versuch dient es zur Messung der Schlagkraft und der übertragenen Energie. Hierzu sind ein paar Voruntersuchungen des Makiwaras nötig. Die Genauigkeit dieser Untersuchungen sollte für die biomechanische Abschätzung ausreichen.

Der Aufbau des Makiwaras, eine Planzeichnung:



Foto Makiwara



Da anhand der Auslenkung des Makiwaras eine der Teil-energien ausgerechnet werden soll, die beim Schlag darauf auftreten, ist eine Bestimmung der notwendigen Energien, um das Brett um einen bestimmten Betrag zu biegen unumgänglich. Zur Bestimmung dieser Energien habe ich folgenden Versuchsaufbau verwendet:

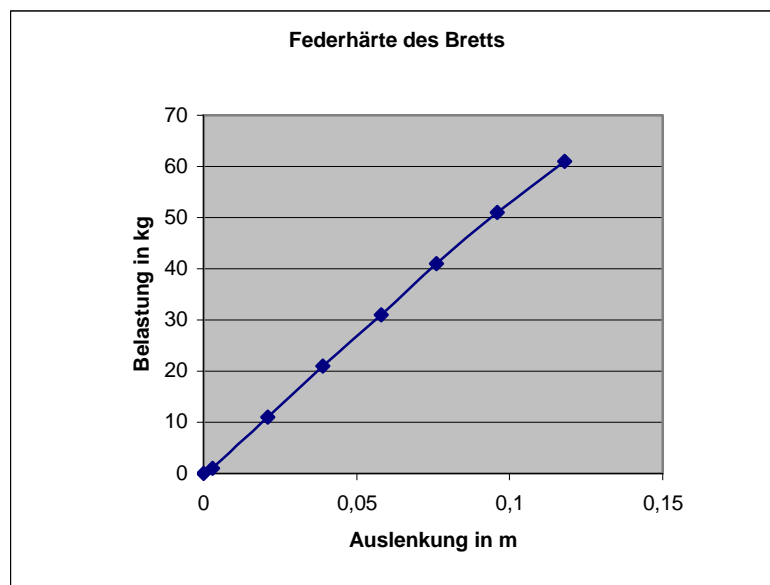
Das Makiwara wird mit Schraubzwingen an einem Tisch befestigt, so dass es den späteren Schlagbedingungen entspricht. Die Auslenkung wird mit einem am Boden aufgestellten Maßstabs am oberen Ende des Makiwaras gemessen. Nun wird das Makiwara mit Hilfe von Gewichten belastet und die Auslenkung abgelesen.



Aus diesem Versuch ergibt sich folgende Messwerttabelle:

Auslenkung in m	Belastung in kg	Kraft in Newton
0 m	0 kg	0 N
0,003 m	1,05 kg	10,30 N
0,021 m	11,05 kg	108,40 N
0,039 m	21,05 kg	206,50 N
0,058 m	31,05 kg	304,60 N
0,076 m	41,05 kg	402,70 N
0,096 m	51,05 kg	500,80 N
0,118 m	61,05 kg	598,90 N

Das dazugehörige Diagramm:



Aus diesen Ergebnissen ergibt sich eine eindeutige lineare Abhängigkeit zwischen Auslenkung und dem damit verbundenen Kraftaufwand innerhalb der im Experiment vorkommenden Maximalwerte, das heißt es lässt sich eine Federkonstante D bestimmen.

Aufgrund dieser Erkenntnis lässt sich die Energie, die hinter einer bestimmten Auslenkung steckt auf zwei Arten bestimmt werden:

- Die erste Methode ist die Bestimmung der Energie über die Federhärte D :

Die Formel zur Berechnung der Federhärte:

$$F = D \cdot s; \quad (\text{Hooke})$$

$$\rightarrow D = \frac{F}{s};$$

Aus der Messwerttabelle ergeben sich folgende Werte:

$$F = 598,9N;$$

$$s = 0,118m;$$

Berechnung der Federhärte:

$$D = \frac{598,9N}{0,118m} = 5075,4 \frac{N}{m};$$

Berechnung der zu verrichtenden Arbeit bei einer Auslenkung von $0,118m$:

$$W = \frac{1}{2} \cdot D \cdot s^2;$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot 5075,4 \frac{N}{m} \cdot (0,118m)^2 = 35,34J;$$

Hinweis:

Ich verwende bei dieser Rechnung die Maximalwerte, da hierbei die Abweichung bei Messfehlern nur minimal ins Gewicht fallen.

Dies zeige man anhand einer Beispielrechnung:

Besteht eine Gewichtsabweichung von $100g$, dann ergibt sich bei einer Masse von

$11,05 \text{ kg}$:

$$\frac{0,1}{11,05} \approx 1\%;$$

Wird allerdings eine größere Masse, wie hier mit $61,05 \text{ kg}$ gewählt:

$$\frac{0,1}{61,05} = 0,0016 \approx 0,2\%;$$

Hierbei wäre der relative Fehler dann nur 0,2% und fällt damit nicht ins Gewicht.

- Die zweite Methode ist die Bestimmung mithilfe grafischer Integration:
Hierbei wird ein bestimmtes Integral der Auslenkung über die Kraft von 0cm bis 11,8cm gezogen.

$$W = \int_0^{0,118m} F(s) \cdot ds \approx MW(\text{Obersumme}; \text{Untersumme});$$

Zur Berechnung der Unter- und Obersumme lässt sich folgende Tabelle aufstellen:

Auslenkung in m	Kraft in Newton	Differenz	Obersumme	Untersumme
0 m	0 N	0,003 m	0,03 J	
0,003 m	10,30 N	0,018 m	1,95 J	0,00 J
0,021 m	108,40 N	0,018 m	3,72 J	0,19 J
0,039 m	206,50 N	0,019 m	5,79 J	1,95 J
0,058 m	304,60 N	0,018 m	7,25 J	3,92 J
0,076 m	402,70 N	0,02 m	10,02 J	5,48 J
0,096 m	500,80 N	0,022 m	13,18 J	8,05 J
0,118 m	598,90 N			11,02 J

Daraus ergeben sich folgende Werte für Unter- und Obersumme:

$$W_{\text{Obersumme}} = 41,93\text{J}; \quad W_{\text{Untersumme}} = 30,61\text{J};$$

Berechnung des Integrals:

$$W = \int_0^{0,118m} F(s) \cdot ds \approx \frac{W_{\text{Obersumme}} + W_{\text{Untersumme}}}{2} = \frac{41,93\text{J} + 30,61\text{J}}{2} = 36,27\text{J};$$

Ein Nachteil der sich bei der Berechnung der Energie über das Integral ergibt, ist die hohe Anzahl der einfließenden Messfehler. (Allerdings könnten sich diese Fehler gegenseitig eliminieren.) Während hingegen bei der Federhärtenmethode nur der kleine Messfehler beim allerletzten Wert einfließt. Aus diesem Grund wurde die prozentuale Abweichung noch in einer Rechnung angefügt:

$$\frac{\Delta W_{\text{Integral / Federhärtenmethode}}}{W_{\text{Federhärtenmethode}}} = \frac{0,93\text{J}}{35,34\text{J}} \approx 0,026 = 2,6\%;$$

Es ergibt sich zwischen den beiden Meßmethoden also nur eine Abweichung von 2,6%.

Da nun die meisten Aspekte der Messvorrichtungen geklärt sind, folgen nun die Auswertungen und Beobachtungen bei der Versuchsdurchführung.

Versuchsauswertungen

In diesem Abschnitt werden nun die Videos in Bezug auf die Gesamtkraft, die beim Auftreffen der Faust vorhanden sind und die Energieübertragung auf das Makiwara berechnet.

Es folgt nun die Berechnung der Maximalenergie, die beim Auftreffen der Faust im Körper der Person1 auftritt.

Die Gesamtenergie, die vom Körper ausgeht berechnet sich näherungsweise nach der Formel:

$$E_{Gesamt} = E_{Faust} + E_{Unterarm} + E_{Oberarm} + E_{Körper} ;$$

Sie besteht hier aus vier Teilenergien, die sich zur letztendlichen Schlagenergie aufsummieren. An dieser Stelle ist allerdings anzumerken, dass es sich hier um eine biomechanische Abschätzung handelt. Es wird versucht sich bei den Näherungen an der Untergrenze der auftretenden Energien zu orientieren. Für die Berechnung der Energien werden möglichst immer die Geschwindigkeiten der Gelenke oder dementsprechenden Glieder kurz vor dem Auftreffen der Faust auf das Makiwara genommen.

Bei Person1 ist der Auftreffmoment bei 0,4 s.

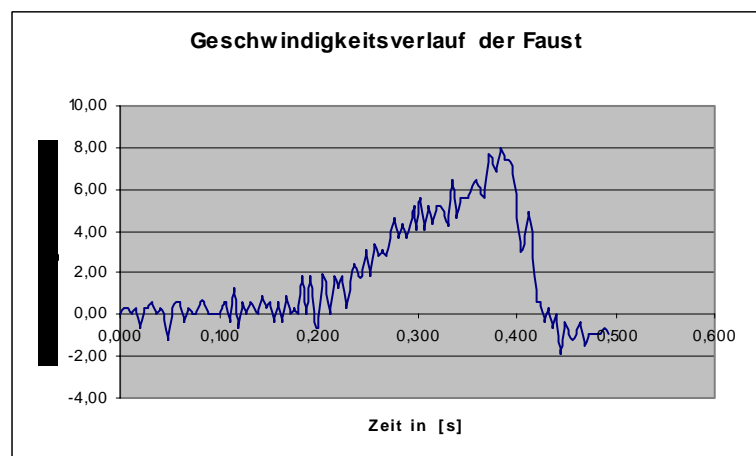
Es folgt nun die Berechnung der vier Teilenergien:

1. Berechnung von E_{Faust} :

Tabellenwerte:

$$m_{Faust} = 0,91kg ;$$

$$v_{Max-Faust} = 7,41 \frac{m}{s} ;$$



Formel zur Berechnung der kinetischen Energie:

$$E_{Faust} = E_{kin-Faust} = \frac{1}{2} \cdot m_{Faust} \cdot v_{Max-Faust}^2;$$

$$E_{Faust} = \frac{1}{2} \cdot 0,91kg \cdot \left(7,41 \frac{m}{s}\right)^2 = 24,98J;$$

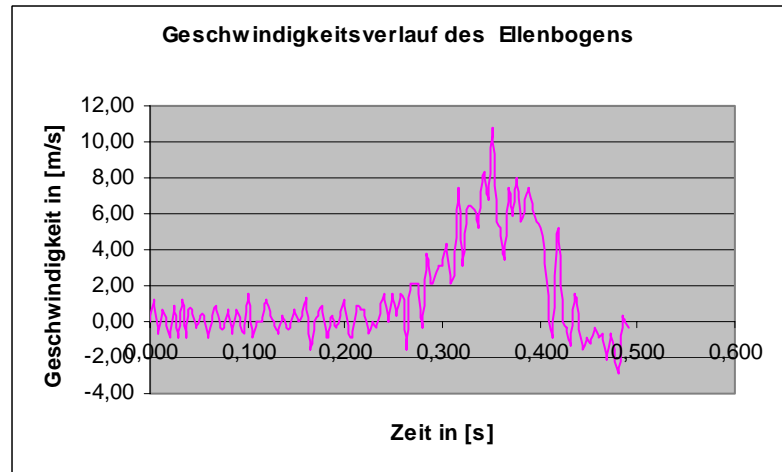
2. Berechnung von $E_{Unterarm}$:

Tabellenwerte:

$$m_{Unterarm} = 1,82kg ;$$

$$v_{Max-Faust} = 7,41 \frac{m}{s} ;$$

$$v_{Ellenbogen} = 5,25 \frac{m}{s} ;$$



Die Geschwindigkeit des Unterarms errechnet sich näherungsweise aus dem Mittelwert der Geschwindigkeiten von Faust und Ellenbogen: (Diese Näherung ist wegen der Massenverteilung des Unterarms notwendig.)

$$v_{Unterarm} = \frac{v_{Max-Faust} + v_{Ellenbogen}}{2} ;$$

$$v_{Unterarm} = \frac{7,41 \frac{m}{s} + 5,25 \frac{m}{s}}{2} = 6,33 \frac{m}{s} ;$$

Formel zur Berechnung der kinetischen Energie:

$$E_{Unterarm} = E_{kin-Unterarm} = \frac{1}{2} \cdot m_{Unterarm} \cdot v_{Unterarm}^2 ;$$

$$E_{Unterarm} = \frac{1}{2} \cdot 1,82kg \cdot \left(6,33 \frac{m}{s}\right)^2 = 36,46J ;$$

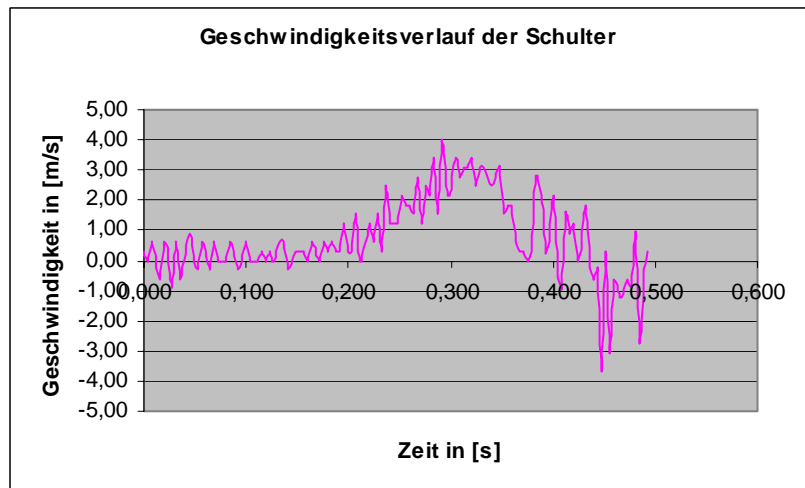
3. Berechnung von E_{Oberarm} :

Tabellenwerte:

$$m_{\text{Oberarm}} = 2,73 \text{ kg} ;$$

$$v_{\text{Ellenbogen}} = 5,25 \frac{\text{m}}{\text{s}} ;$$

$$v_{\text{Schulter}} = 2,16 \frac{\text{m}}{\text{s}} ;$$



Die Geschwindigkeit des Oberarms errechnet sich näherungsweise aus dem Mittelwert der Geschwindigkeiten von Ellenbogen und Schulter:

(Diese Näherung erfolgt nach dem gleichen Schema, wie beim Unterarm)

$$v_{\text{Oberarm}} = \frac{v_{\text{Ellenbogen}} + v_{\text{Schulter}}}{2} ;$$

$$v_{\text{Oberarm}} = \frac{5,25 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 2,16 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2} = 3,71 \frac{\text{m}}{\text{s}} ;$$

$$E_{\text{Oberarm}} = E_{\text{kin-Oberarm}} = \frac{1}{2} \cdot m_{\text{Oberarm}} \cdot v_{\text{Oberarm}}^2 ;$$

$$E_{\text{Oberarm}} = \frac{1}{2} \cdot 2,73 \text{ kg} \cdot \left(3,71 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 18,79 \text{ J} ;$$

4. Berechnung von $E_{\text{Körper}}$:

Da bei dieser Karatetechnik nicht der komplette Körper oberhalb der Hüfte bewegt wird, wird als Näherungswert für seine Masse die halbe Masse des Rumpfs genommen. Diese Näherung dürfte in der Realität ziemlich der Untergrenze entsprechen.

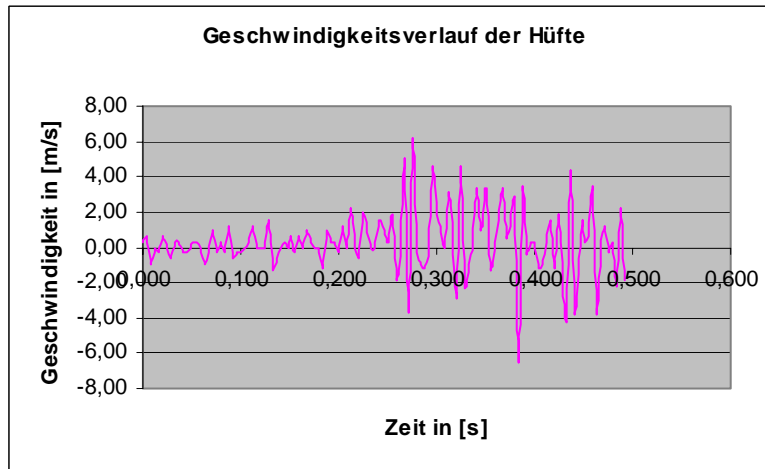
Tabellenwerte:

$$m_{\text{Rumpf}} = 39,1 \text{ kg} ;$$

$$m_{\text{Körper}} \approx \frac{1}{2} \cdot m_{\text{Rumpf}} ;$$

$$m_{\text{Körper}} = \frac{1}{2} \cdot 39,1 \text{ kg} = 19,55 \text{ kg} ;$$

Die Geschwindigkeit der Hüfte errechnet sich hier aufgrund von zu hohen Schwankungen bei der Punktauswertung aus dem Mittelwert der Geschwindigkeiten im Intervall [0,3s; 0,316s]:



$$v_{H\ddot{u}fte} = \frac{1,85 \frac{m}{s} + 1,23 \frac{m}{s} + 0,0 \frac{m}{s} + 3,09 \frac{m}{s} + 0,62 \frac{m}{s}}{5} = 1,36 \frac{m}{s};$$

$$v_{Schulter} = 2,16 \frac{m}{s};$$

Für die Geschwindigkeit des Körpers wird der Mittelwert aus Hüft- und Schultergeschwindigkeit genommen.

$$v_{K\ddot{o}rper} = \frac{v_{Schulter} + v_{H\ddot{u}fte}}{2};$$

$$v_{K\ddot{o}rper} = \frac{2,16 \frac{m}{s} + 1,36 \frac{m}{s}}{2} = 1,76 \frac{m}{s};$$

$$E_{K\ddot{o}rper} = E_{kin-K\ddot{o}rper} = \frac{1}{2} \cdot m_{K\ddot{o}rper} \cdot v_{K\ddot{o}rper}^2;$$

$$E_{K\ddot{o}rper} = \frac{1}{2} \cdot 19,55 \text{ kg} \cdot \left(1,76 \frac{m}{s}\right)^2 = 30,28 \text{ J};$$

Berechnung der Gesamtenergie des Schlags:

$$E_{Gesamt} = 24,98 \text{ J} + 36,46 \text{ J} + 18,79 \text{ J} + 30,28 \text{ J} = 110,51 \text{ J} \approx 111 \text{ J}$$

Die Gesamtenergie der anderen beiden Testschläger berechnet sich nach demselben Muster:

Bei Person2 schauen die Berechnungen der Teilenergien und die letztendliche Gesamtenergie folgendermaßen aus:

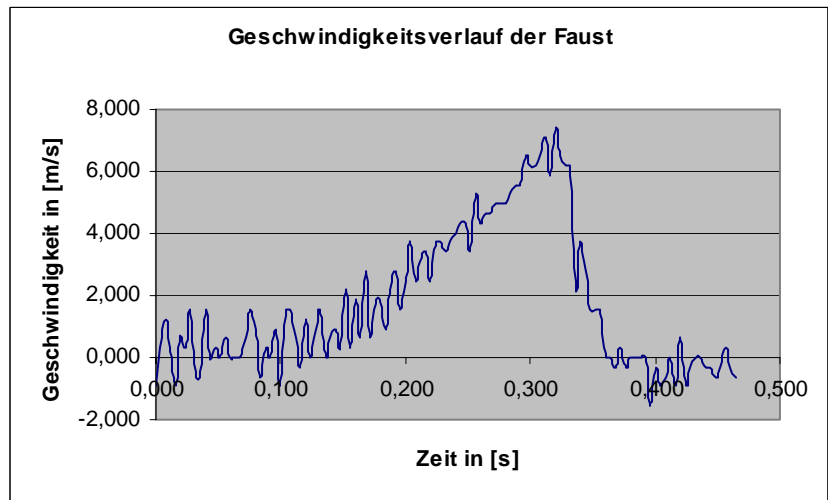
Der Auftreffmoment der Faust auf dem Makiwara ist hier ca. bei 336 ms festzustellen.

1. Berechnung von E_{Faust} :

Tabellenwerte:

$$m_{Faust} = 1,02kg ;$$

$$v_{Faust} = 6,12 \frac{m}{s} ;$$



$$E_{Faust} = E_{kin-Faust} = \frac{1}{2} \cdot m_{Faust} \cdot v_{Max-Faust}^2$$

$$E_{Faust} = \frac{1}{2} \cdot 1,02kg \cdot \left(6,12 \frac{m}{s}\right)^2 = 19,1J$$

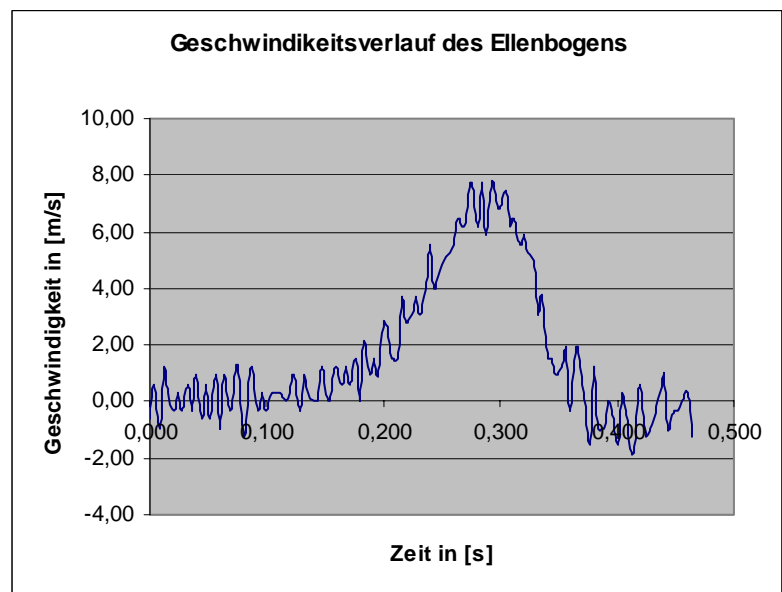
2. Berechnung von $E_{Unterarm}$:

Tabellenwerte:

$$m_{Unterarm} = 2,04kg ;$$

$$v_{Max-Faust} = 6,12 \frac{m}{s} ;$$

$$v_{Ellenbogen} = 5,26 \frac{m}{s} ;$$



$$v_{Unterarm} = \frac{6,12 \frac{m}{s} + 5,26 \frac{m}{s}}{2} = 5,69 \frac{m}{s} ;$$

$$E_{Unterarm} = E_{kin-Unterarm} = \frac{1}{2} \cdot m_{Unterarm} \cdot v_{Unterarm}^2 ;$$

$$E_{Unterarm} = \frac{1}{2} \cdot 2,04kg \cdot \left(5,69 \frac{m}{s}\right)^2 = 33,02J ;$$

3. Berechnung von E_{Oberarm} :

Tabellenwerte:

$$m_{\text{Oberarm}} = 3,06 \text{ kg} ;$$

$$v_{\text{Ellenbogen}} = 5,26 \frac{\text{m}}{\text{s}} ;$$

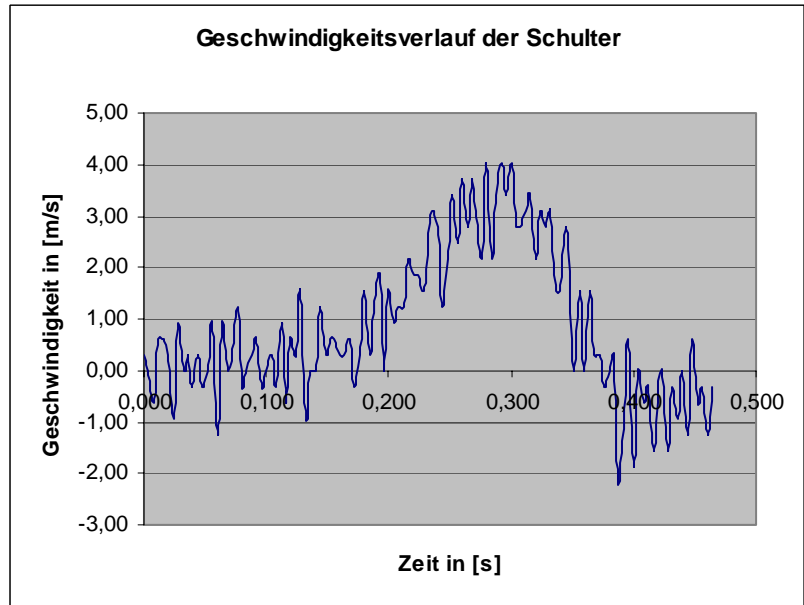
$$v_{\text{Schulter}} = 2,47 \frac{\text{m}}{\text{s}} ;$$

(Mittelwert aus 3 Werten kurz vor dem Auftreffen, da der Wert von $3,09 \text{ ms}^{-1}$ etwas zu hoch erscheint)

$$v_{\text{Oberarm}} = \frac{5,26 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 2,47 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2} = 3,87 \frac{\text{m}}{\text{s}} ;$$

$$E_{\text{Oberarm}} = E_{\text{kin-Oberarm}} = \frac{1}{2} \cdot m_{\text{Oberarm}} \cdot v_{\text{Oberarm}}^2 ;$$

$$E_{\text{Oberarm}} = \frac{1}{2} \cdot 3,07 \text{ kg} \cdot \left(3,87 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 22,99 \text{ J} ;$$



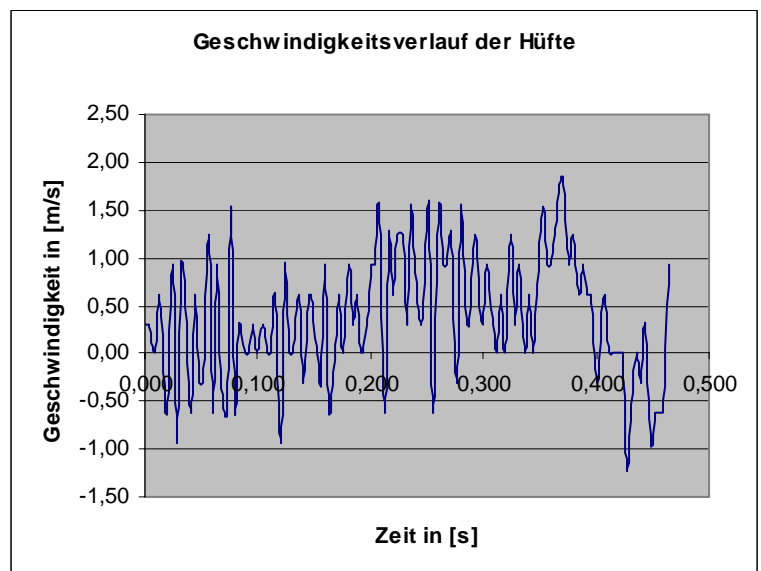
4. Berechnung von $E_{\text{Körper}}$:

$$m_{\text{Rumpf}} = 43,9 \text{ kg} ;$$

$$m_{\text{Körper}} \approx \frac{1}{2} \cdot m_{\text{Rumpf}} ;$$

$$m_{\text{Körper}} = \frac{1}{2} \cdot 43,9 \text{ kg} = 21,95 \text{ kg} ;$$

$$v_{\text{Schulter}} = 2,47 \frac{\text{m}}{\text{s}} ;$$



Um die ungefähre Geschwindigkeit der Hüfte zu erhalten nehme ich den Mittelwert der Geschwindigkeiten im Intervall [0,324s; 0,332s]

$$v_{H\ddot{u}fte} = \frac{1,24 \frac{m}{s} + 0,31 \frac{m}{s} + 0,93 \frac{m}{s}}{3} = 0,83 \frac{m}{s};$$

$$v_{K\ddot{o}rper} = \frac{2,47 \frac{m}{s} + 0,83 \frac{m}{s}}{2} = 1,65 \frac{m}{s};$$

$$E_{K\ddot{o}rper} = E_{kin-K\ddot{o}rper} = \frac{1}{2} \cdot m_{K\ddot{o}rper} \cdot v_{K\ddot{o}rper}^2;$$

$$E_{K\ddot{o}rper} = \frac{1}{2} \cdot 21,95kg \cdot \left(1,65 \frac{m}{s}\right)^2 = 29,88J;$$

Berechnung der Gesamtenergie des Schlags:

$$E_{Gesamt} = 19,1J + 30,02J + 22,99J + 29,88J = 101,99J \approx 102J;$$

Berechnung der Energie, die hinter dem Schlag von Person3 steckt:

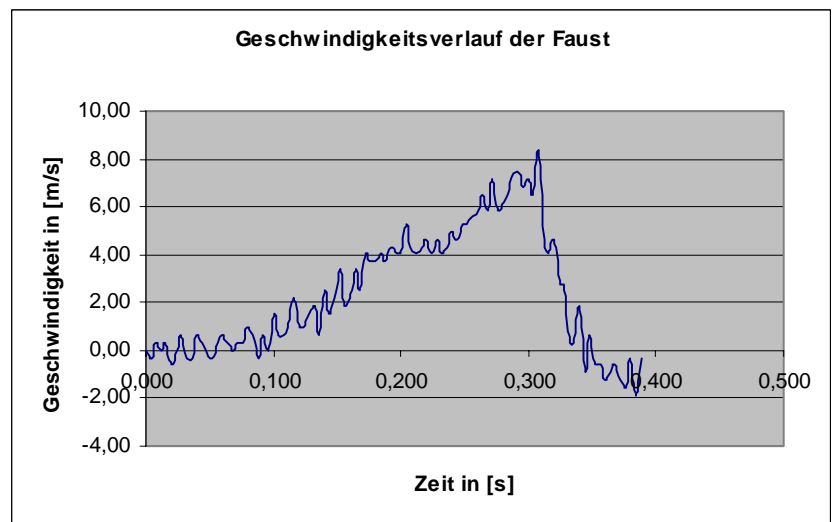
Berechnung der Teilenergien:

1. Berechnung von E_{Faust} :

Tabellenwerte:

$$m_{Faust} = 0,71kg;$$

$$v_{Max-Faust} = 8,35 \frac{m}{s};$$



$$E_{Faust} = E_{kin-Faust} = \frac{1}{2} \cdot m_{Faust} \cdot v_{Max-Faust}^2;$$

$$E_{Faust} = \frac{1}{2} \cdot 0,71kg \cdot \left(8,35 \frac{m}{s}\right)^2 = 24,75J;$$

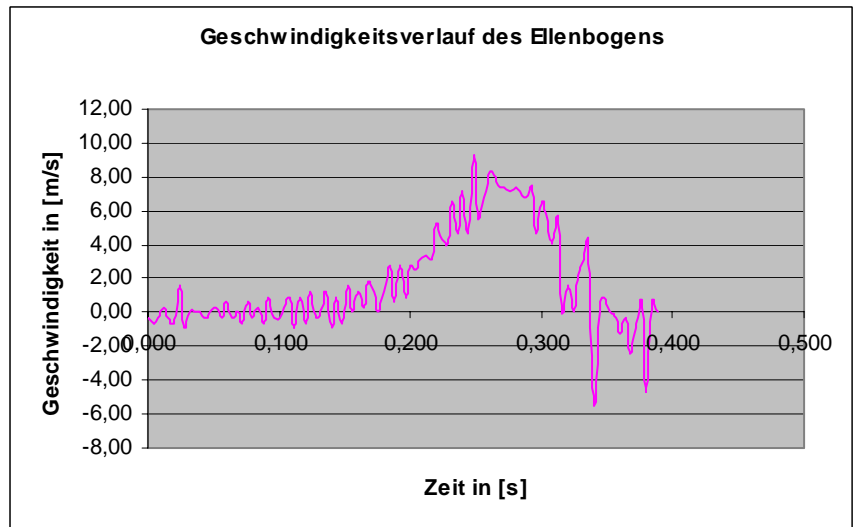
2. Berechnung von E_{Unterarm} :

Tabellenwerte:

$$m_{\text{Unterarm}} = 1,42 \text{ kg} ;$$

$$v_{\text{Max-Faust}} = 8,35 \frac{\text{m}}{\text{s}} ;$$

$$v_{\text{Ellenbogen}} = 5,57 \frac{\text{m}}{\text{s}} ;$$



Die Geschwindigkeit des Unterarms errechnet sich näherungsweise aus dem Mittelwert der Geschwindigkeiten von Faust und Ellenbogen:

$$v_{\text{Unterarm}} = \frac{v_{\text{Max-Faust}} + v_{\text{Ellenbogen}}}{2} ;$$

$$v_{\text{Unterarm}} = \frac{8,35 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 5,57 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2} = 6,96 \frac{\text{m}}{\text{s}} ;$$

Energie:

$$E_{\text{Unterarm}} = E_{\text{kin-Unterarm}} = \frac{1}{2} \cdot m_{\text{Unterarm}} \cdot v_{\text{Unterarm}}^2 ;$$

$$E_{\text{Unterarm}} = \frac{1}{2} \cdot 1,42 \text{ kg} \cdot (6,96)^2 = 34,39 \text{ J} ;$$

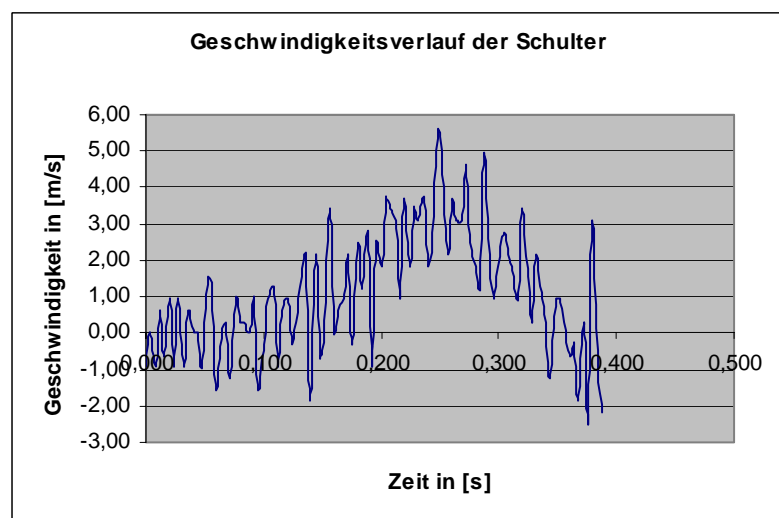
3. Berechnung von E_{Oberarm} :

Tabellenwerte:

$$m_{\text{Oberarm}} = 2,13 \text{ kg} ;$$

$$v_{\text{Ellenbogen}} = 5,57 \frac{\text{m}}{\text{s}} ;$$

$$v_{\text{Schulter}} = 2,17 \frac{\text{m}}{\text{s}} ;$$



Die Geschwindigkeit des Oberarms errechnet sich näherungsweise aus dem Mittelwert der Geschwindigkeiten von Ellenbogen und Schulter:

$$v_{\text{Oberarm}} = \frac{v_{\text{Ellenbogen}} + v_{\text{Schulter}}}{2};$$

$$v_{\text{Oberarm}} = \frac{5,57 \frac{m}{s} + 2,17 \frac{m}{s}}{2} = 3,87 \frac{m}{s};$$

$$E_{\text{Oberarm}} = E_{\text{kin-Oberarm}} = \frac{1}{2} \cdot m_{\text{Oberarm}} \cdot v_{\text{Oberarm}}^2;$$

$$E_{\text{Oberarm}} = \frac{1}{2} \cdot 2,13 \text{kg} \cdot \left(3,87 \frac{m}{s}\right)^2 = 15,95 \text{J};$$

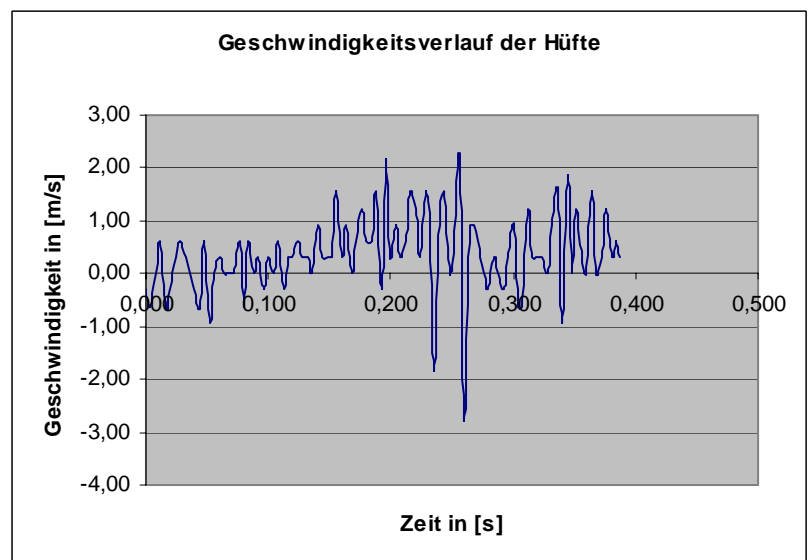
4. Berechnung von $E_{\text{Körper}}$:

Tabellenwerte:

$$m_{\text{Rumpf}} = 30,5 \text{kg};$$

$$m_{\text{Körper}} \approx \frac{1}{2} \cdot m_{\text{Rumpf}};$$

$$m_{\text{Körper}} = \frac{1}{2} \cdot 30,5 \text{kg} = 15,25 \text{kg}$$



Für die Geschwindigkeit des Körpers wird der Mittelwert aus Hüft- und Schultergeschwindigkeit genommen.

$$v_{\text{Schulter}} = 2,17 \frac{m}{s};$$

Die Geschwindigkeit der Hüfte errechnet sich nun näherungsweise aus dem Mittelwert der zwei positiven Werte im Intervall [0,3; 0,312]s.

$$v_{\text{Hüfte}} = \frac{0,93 \frac{m}{s} + 1,24 \frac{m}{s}}{2} = 1,09 \frac{m}{s};$$

$$v_{\text{Körper}} = \frac{v_{\text{Schulter}} + v_{\text{Hüfte}}}{2};$$

$$v_{\text{Körper}} = \frac{2,17 \frac{m}{s} + 1,09 \frac{m}{s}}{2} = 1,63 \frac{m}{s};$$

$$E_{\text{Körper}} = E_{\text{kin-Körper}} = \frac{1}{2} \cdot m_{\text{Körper}} \cdot v_{\text{Körper}}^2;$$

$$E_{\text{Körper}} = \frac{1}{2} \cdot 15,25 \text{kg} \cdot \left(1,63 \frac{m}{s}\right)^2 = 20,26 \text{J};$$

Die Geschwindigkeit der Hüfte errechne ich nun aus dem Mittelwert der vier Geschwindigkeitswerte im Intervall [0,3; 0,312]s.

$$v_{\text{Hüfte}} = \frac{0,93 \frac{m}{s} + (-0,62 \frac{m}{s}) + (-0,62 \frac{m}{s}) + 1,24 \frac{m}{s}}{4} = 0,23 \frac{m}{s};$$

$$v_{\text{Körper}} = \frac{v_{\text{Schulter}} + v_{\text{Hüfte}}}{2};$$

$$v_{\text{Körper}} = \frac{2,17 \frac{m}{s} + 0,23 \frac{m}{s}}{2} = 1,2 \frac{m}{s};$$

$$E_{\text{Körper}} = E_{\text{kin-Körper}} = \frac{1}{2} \cdot m_{\text{Körper}} \cdot v_{\text{Körper}}^2;$$

$$E_{\text{Körper}} = \frac{1}{2} \cdot 15,25 \text{kg} \cdot \left(1,2 \frac{m}{s}\right)^2 = 10,98 \text{J};$$

Der reelle Wert für die Geschwindigkeit der Hüfte liegt vermutlich irgendwo zwischen den beiden Werten.

Berechnung der Gesamtenergie aus den Teilenergien:

$$E_{\text{Gesamt}} = E_{\text{Faust}} + E_{\text{Unterarm}} + E_{\text{Oberarm}} + E_{\text{Körper}};$$

Die Gesamtenergie mit der niedrigen Hüftgeschwindigkeit:

$$E_{\text{Gesamt}} = 24,75 \text{J} + 34,39 \text{J} + 15,95 \text{J} + 10,98 \text{J} = 86,07 \text{J} \approx 86 \text{J};$$

Die Gesamtenergie mit der höheren Hüftgeschwindigkeit:

$$E_{\text{Gesamt}} = 24,75 \text{J} + 34,39 \text{J} + 15,95 \text{J} + 20,26 \text{J} = 95,39 \text{J} \approx 95 \text{J};$$

Als zweiter Schritt der Auswertung erfolgt eine näherungsweise Berechnung der Energien, die auf das Makiwara übertragen worden sind. Sie berechnet

sich aus einem statisch potentiellen Anteil und einem dynamisch kinetischem Anteil. Die Formel sieht also folgendermaßen aus:

$$E_{Makiwara} = E_{pot} + E_{kin} ;$$

Zur Berechnung von E_{kin} ist aber noch ein kleiner Nachtrag zum Makiwara notwendig, nämlich das Trägheitsmoment.

Berechnung des Trägheitsmoments:

Die Formel für das Trägheitsmoment für eine punktförmige Masse würde lauten:

$$J = m \cdot r^2 ;$$

Da es sich beim Makiwara aber nicht um eine Punktförmige Masse handelt, sondern ein spitz zulaufendes langes Brett, ist die Formel

$$J = \int r^2 \cdot dm ;$$

zu verwenden, da in ihr der variable Massenabstand zur Drehachse berücksichtigt werden.

Rechnung:

$$J = \int r^2 \cdot dm ;$$

Berechnung der Dichte ρ des Makiwaras:

$$m = \rho \cdot V ;$$

$$\rho = \frac{m}{V} ;$$

$$m_{Makiwara} = 3,25kg ;$$

Berechnung des Makiwaravolumens:

$$V = V_{unten} + V_{oben} ;$$

$$V_{unten} = 0,03m \cdot 0,3m \cdot 0,14m = 1,26 \cdot 10^{-3} m^3 ;$$

$$V_{oben} = 0,015m \cdot 1,1m \cdot 0,14m + \frac{1}{2} \cdot 0,015m \cdot 1,1m \cdot 0,14m = 3,465 \cdot 10^{-3} m^3 ;$$

$$V = 1,26 \cdot 10^{-3} m^3 + 3,465 \cdot 10^{-3} m^3 = 4,725 \cdot 10^{-3} m^3 ;$$

$$\rho = \frac{3,25kg}{4,725 \cdot 10^{-3} m^3} = 687,83 \frac{kg}{m^3} ;$$

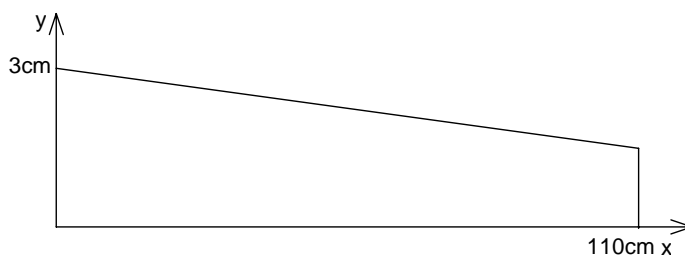
Dieser Abschnitt war nur für die Berechnung von ρ , für das lösen des Integrals muss ein anderes Volumen für das Makiwara genommen werden, da nur die obere Hälfte bei dem Schlag ausgelenkt wird, daher ist die Länge $l = 1,1m$.

$$V = l \cdot b \cdot s(r);$$

$$s(r) = m_{\text{Steigung}} \cdot r + t;$$

$$t = 0,015m;$$

Zur Berechnung von m_{Steigung} ist diese Skizze hilfreich:



$$m_{\text{Steigung}} = \frac{y_{\text{Ende}} - y_{\text{Anfang}}}{x_{\text{Ende}} - x_{\text{Anfang}}};$$

$$m_{\text{Steigung}} = \frac{0,015m - 0,03m}{1,1m - 0m} = -\frac{0,015m}{1,1m} = -1,364 \cdot 10^{-2};$$

$$s(r) = -1,364 \cdot 10^{-2} \cdot r + 0,03m;$$

Berechnung vom Trägheitsmoment J:

$$J = \int r^2 dm;$$

$$J = \int r^2 d(\rho \cdot V);$$

$$J = \int r^2 d(\rho \cdot b \cdot s(r));$$

$$J = \rho \cdot b \int r^2 s(r) dr;$$

Für das Makiwara gilt dann:

$$J = \rho \cdot b \int_{0m}^{1,1m} r^2 s(r) dr;$$

$$J = \rho \cdot b \int_{0m}^{1,1m} r^2 \cdot (-1,364 \cdot 10^{-2} \cdot r + 0,03m) dr;$$

$$J = \rho \cdot b \int_{0m}^{1,1m} (-1,364 \cdot 10^{-2} \cdot r^3 + 0,03m \cdot r^2) dr ;$$

$$J = \rho \cdot b \cdot \left[-\frac{1,364 \cdot 10^{-2}}{4} \cdot r^4 + \frac{0,03m}{3} \cdot r^3 \right]_{0m}^{1,1m} ;$$

$$J = \rho \cdot b \cdot \left(\left(-\frac{1,364 \cdot 10^{-2}}{4} \cdot (1,1m)^4 + \frac{0,03m}{3} \cdot (1,1m)^3 \right) - 0 \right) ;$$

$$J = \rho \cdot b \cdot 8,32 \cdot 10^{-3} m^4 ;$$

$$J = 687,83 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,14m \cdot 8,32 \cdot 10^{-3} m^4 = 8,01 \cdot 10^{-1} kgm^2 ;$$

Mit dem nun errechneten Trägheitsmoment lassen sich Drehmomentstoß und die kinetischen Energien berechnen. Der Drehmomentstoß geht allerdings von einer praktisch reibungsfreien Lagerung und einem frei drehbaren Körper aus, das heißt, wenn ein Körper getroffen wird dreht er ohne jegliche Gegenkräfte. Da das Makiwara aber fest im Boden verankert ist, also nicht frei drehen kann, sondern nur der obere Part, aber auch nur beschränkt, und zudem noch eine Feder dagegen wirkt, ist diese Abschätzung wirklich nur die untere Grenze der kinetischen Energie.

Berechnung der aufs Makiwara übertragenen Energie von Person1:

$$E = E_{kin} + E_{pot} ;$$

Berechnung von E_{pot} :

Tabellenwerte:

$$x_{Anfang} = 1,33m ;$$

$$x_{Ende} = 1,43m$$

$$\Delta x = x_{Ende} - x_{Anfang} ;$$

$$\Delta x = 1,43m - 1,33m = 0,10m ;$$

$$D = 5075,4 \frac{N}{m} ;$$

$$E_{pot} = \frac{1}{2} \cdot D \cdot (\Delta x)^2 ;$$

$$E_{pot} = \frac{1}{2} \cdot 5075,4 \frac{N}{m} \cdot (0,10m)^2 = 25,38J ;$$

Berechnung von E_{kin} :

$$E_{rot} = \frac{J}{2} \cdot \omega^2;$$

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t};$$

Bei Verwendung der Kleinwinkelnäherung:

$$\varphi \approx \tan \varphi;$$

Da das Brett erst sehr stark beschleunigt wird und dann sehr stark abgebremst wird errechnet sich diese Energie aus der Energie bis zum Erreichen der Maximalgeschwindigkeit und dann aus dem Betrag der Energie beim Abbremsvorgang.

$$\Delta t = 0,008s;$$

$$x = 0,04m;$$

$$\tan \varphi = \frac{0,04m}{1,1m} = 3,64 \cdot 10^{-2} = \varphi;$$

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{3,64 \cdot 10^{-2}}{0,008s} = 4,55 \frac{1}{s};$$

$$E_{rot_1} = \frac{J}{2} \cdot \omega^2 = \frac{8,01 \cdot 10^{-1} \text{kgm}^2}{2} \cdot \left(4,55 \frac{1}{s}\right)^2 = 8,29J;$$

Berechnung des zweiten Teils der Auslenkung:

$$\Delta t = 0,012s;$$

$$x = 0,06m;$$

$$\tan \varphi = \frac{0,06m}{1,1m} = 5,45 \cdot 10^{-2} = \varphi;$$

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{5,45 \cdot 10^{-2}}{0,012s} = 4,54 \frac{1}{s}$$

$$E_{rot_2} = \frac{J}{2} \cdot \omega^2 = \frac{8,01 \cdot 10^{-1} \text{kgm}^2}{2} \cdot \left(4,54 \frac{1}{s}\right)^2 = 8,25J;$$

→ die kinetische Energie entspricht ungefähr der doppelten Energie, die für die halbe Strecke der Auslenkung notwendig ist.

Daraus ergibt sich:

$$E_{rot} = E_{rot_1} + E_{rot_2} = 8,29J + 8,25J = 16,54J;$$

Die auf das Makiwara übertragene Energie entspricht ungefähr:

$$E = E_{kin} + E_{pot} = 25,38J + 16,54J = 41,92J ;$$

Die Berechnungen der zwei anderen Schläge laufen nach demselben Muster, wie diese ab.

Energie, die von Person2 übertragen wurde:

Berechnung von E_{pot} :

Tabellenwerte:

$$\Delta x = 0,09m;$$

$$E_{pot} = \frac{1}{2} \cdot D \cdot (\Delta x)^2;$$

$$E_{pot} = \frac{1}{2} \cdot 5075,4 \frac{N}{m} \cdot (0,09m)^2 = 20,56J;$$

Berechnung von E_{kin} :

Tabellenwerte:

$$\Delta t = 0,008s ;$$

$$x = 0,04m ;$$

$$\tan \varphi = \frac{0,04m}{1,1m} = 3,64 \cdot 10^{-2} = \varphi ;$$

$$\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{3,64 \cdot 10^{-2}}{0,008s} = 4,55 \frac{1}{s} ;$$

$$E_{rot_1} = \frac{J}{2} \cdot \omega^2 = \frac{8,01 \cdot 10^{-1} kgm^2}{2} \cdot \left(4,55 \frac{1}{s}\right)^2 = 8,29J ;$$

$$E_{kin} = 2 \cdot E_{rot} = 2 \cdot 8,29J = 16,58J ;$$

Die Energie am Makiwara entspricht:

$$E = E_{kin} + E_{pot} = 20,56J + 16,58J = 37,14J$$

Berechnung der Energie bei Schlag drei auf das Makiwara:

Berechnung von E_{pot} :

Tabellenwerte:

$$\Delta x = 0,1m ;$$

$$E_{pot} = \frac{1}{2} \cdot D \cdot (\Delta x)^2;$$

$$E_{pot} = \frac{1}{2} \cdot 5075,4 \frac{N}{m} \cdot (0,10m)^2 = 25,38J;$$

Berechnung von E_{kin} :

Tabellenwerte:

$$\Delta t = 0,008s;$$

$$x = 0,06m;$$

$$\tan \varphi = \frac{0,06m}{1,1m} = 5,45 \cdot 10^{-2} = \varphi;$$

$$\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{5,45 \cdot 10^{-2}}{0,008s} = 6,81 \frac{1}{s};$$

$$E_{rot} = \frac{J}{2} \cdot \omega^2 = \frac{8,01 \cdot 10^{-1} kgm^2}{2} \cdot \left(5,45 \frac{1}{s}\right)^2 = 11,9J;$$

$$E_{kin} = 2 \cdot E_{rot} = 2 \cdot 11,9J = 23,8J$$

Die Energie am Makiwara entspricht:

$$E = E_{kin} + E_{pot} = 25,38J + 23,8J = 49,18J;$$

Zum besseren Vergleich noch mal eine Tabelle mit allen Werten:

Testperson:	Schlagenergie:	Übertragene Energie:
Person1	111J	41,29J
Person2	102J	37,14J
Person3	[86J; 95J]	49,18J

Bei der Übertragung der Energie spielen die Kräfte, die auf das Brett und als Gegenkraft wirken eine entscheidende Rolle. Hier ist zum Beispiel wichtig, dass die Faust die Reaktionskräfte ohne Verletzung überstehen kann. Dazu sind zum Beispiel auch anatomische Aspekte und der Druck, der dabei auftritt, zu beachten. Da diese Überlegungen aber den Rahmen dieser Arbeit bei weitem sprengen würden, sollen nur die auftretenden Kräfte berechnet werden.

Berechnung der Kraft beim Auftreffen der Faust:

Schlag von Person 1:

Kraft für die Auslenkung:

$$s = 0,1m;$$

$$F = D \cdot s; \quad (\text{Hooke})$$

$$F = 5075,4 \frac{N}{m} \cdot 0,10m = 507,54N \approx 508N;$$

Kraft für den Kraftstoß:

$$M \cdot \Delta t = J \cdot \omega - J \cdot \omega_0;$$

$$F \cdot l \cdot \Delta t = J \cdot \omega - J \cdot \omega_0;$$

$$F = \frac{J \cdot \omega - J \cdot \omega_0}{l \cdot \Delta t};$$

$$\omega_0 = 0;$$

$$F = \frac{J \cdot \omega}{l \cdot \Delta t};$$

l ist die Höhe in der die Faust auftrifft, also der Abstand zum Drehpunkt.

$$l = 0,85m$$

$$\Delta t = 0,010s;$$

$$J = 8,01 \cdot 10^{-1} kgm^2;$$

$$\Delta x = 0,05m$$

$$\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} \approx \frac{\tan(\Delta s)}{\Delta t}; \quad \text{Kleinwinkelnäherung}$$

$$\tan \varphi = \frac{0,05m}{1,1m} = 4,55 \cdot 10^{-2} = \varphi;$$

$$\omega = \frac{4,55 \cdot 10^{-2}}{0,010s} = 4,55 \frac{1}{s};$$

$$F = \frac{J \cdot \omega}{l \cdot \Delta t} = \frac{8,01 \cdot 10^{-1} kgm^2 \cdot 4,55 \frac{1}{s}}{0,85m \cdot 0,010s} = 4,29 \cdot 10^2 N;$$

Gesamtkraft:

$$F_{Ges} = F_{Auslenkung} + F_{Drehmoment} = 508N + 429N = 937N;$$

Schlag von Person2:

Kraft für die Auslenkung:

$$s = 0,09m;$$

$$F = 5075,4 \frac{N}{m} \cdot 0,09m = 456,8N \approx 457N;$$

Kraft beim Kraftstoß:

$$l = 0,85m;$$

$$J = 8,01 \cdot 10^{-1} \text{kgm}^2;$$

$$\Delta t = 0,010s;$$

$$\Delta x = 0,045m;$$

$$\tan \varphi = \frac{0,045m}{1,1m} = 4,09 \cdot 10^{-2} = \varphi;$$

$$\omega = \frac{4,09 \cdot 10^{-2}}{0,010s} = 4,09 \frac{1}{s};$$

$$F = \frac{J \cdot \omega}{l \cdot \Delta t} = \frac{8,01 \cdot 10^{-1} \text{kgm}^2 \cdot 4,09 \frac{1}{s}}{0,85m \cdot 0,010s} = 3,85 \cdot 10^2 N;$$

Gesamtkraft:

$$F_{Ges} = F_{Auslenkung} + F_{Drehmoment} = 457N + 385N = 842N;$$

Schlag von Person3:

Kraft für die Auslenkung:

$$s = 0,1m;$$

$$F = 5075,4 \frac{N}{m} \cdot 0,10m = 507,54N \approx 508N;$$

Kraft beim Kraftstoß:

$$l = 0,85m;$$

$$J = 8,01 \cdot 10^{-1} \text{kgm}^2;$$

$$\Delta t = 0,010s;$$

$$\Delta x = 0,05m;$$

$$\tan \varphi = \frac{0,05m}{1,1m} = 4,55 \cdot 10^{-2} = \varphi;$$

$$\omega = \frac{4,55 \cdot 10^{-2}}{0,010s} = 4,55 \frac{1}{s};$$

$$F = \frac{J \cdot \omega}{l \cdot \Delta t} = \frac{8,01 \cdot 10^{-1} \text{kgm}^2 \cdot 4,55 \frac{1}{s}}{0,85m \cdot 0,010s} = 4,29 \cdot 10^2 N;$$

Gesamtkraft:

$$F_{Ges} = F_{Auslenkung} + F_{Drehmoment} = 508N + 429N = 937N ;$$

Interpretation und Beobachtungen zu den Versuchsergebnissen

Vom Prinzip her sind nun alle Rechnungen beendet, was nun folgt ist ein Interpretationsansatz der Ergebnisse. Hierbei stellen sich natürlich die Fragen: Was genau bedeuten die Energien und Kräfte und warum ist es möglich damit Steine und Bretter zum bersten zu bringen? Wieso ist der übertragene Anteil der Energien nur so gering?

Die theoretisch von den drei Personen ausgehende Energie entspricht bei Person1 und Person2 jeweils etwa einem Stein oder einer Kugel der Masse 1kg, der aus einer Höhe von ca. 11m beziehungsweise 10m in freiem Fall auf dem Boden auftrifft bei Person3 ist diese Energie niedriger, da seine Masse wesentlich geringer ist, als die der anderen zwei Testpersonen, jedoch entspricht die Energie bei ihm trotzdem noch einem Stein, der aus 8 bis 9 Metern Höhe in freiem Fall auf dem Boden aufschlägt. Die Kräfte von etwa 900N, die dabei beim Auftreffen wirken, entsprechen anschaulich bei Person1 und Person3 einem etwa 94 kg schweren Stein, der auf einer Fläche von wenigen Quadratzentimetern steht. Bei Person2 ist die Kraft etwas geringer, sie entspricht bei ihm aber immer noch der Gewichtskraft eines Steines von 84kg, da er nicht ganz so schnell zugeschlagen hat wie Person1 und Person3. Wenn man sich nun vorstellt, dass ein Brett oder mehrere Dachziegel von einer Kugel der Masse 1kg aus 8-11 Metern Höhe getroffen werden, ist es verständlich, dass sie zerbrechen.

Eine so hohe Energie zu erzielen ist nur durch ein perfektes Zusammenspiel des ganzen Körpers, das heißt eine räumliche und zeitlich koordinierte und optimierte Bewegung des Muskel- und Skelettapparates, möglich. Das bedeutet dann für die Karatetechnik, dass im Moment des Auftreffens möglichst

alle Körperteile ihre Maximalgeschwindigkeit erreicht und somit ein Maximum an Energie erreicht haben.

Jetzt stellt sich aber noch die Frage nach den unterschiedlichen Anteilen der übertragenen Energie. Um diese Frage zu beantworten muss man sich bewusst werden, dass einem auch hier nur ein gewisser Wirkungsgrad im Spiel ist, das heißt es wird nicht die gesamte Energie vom menschlichen Körper auf das Makiwara übertragen. Des Weiteren darf man natürlich nicht vernachlässigen, dass es sich die Näherung bei der Berechnung der übertragenen Energie an der mehr oder weniger Untergrenze der Energie bewegt, damit ist beispielsweise die Näherung beim Drehmomentstoß gemeint, also einem Stoß auf ein frei drehbares Ziel, hierbei wurden keinerlei Federwirkungen berücksichtigt. Aus diesem Grund kann man sagen $E_{\text{Übertragen}} > E_{\text{Berechnet}}$;

Eine weiterer Grund weshalb Energie ‚verloren‘ geht ist der, dass nicht die gesamte übertragene Energie sich in der Auslenkung des Makiwaras äußert, sondern auch in Form anderer Verformungen, so lassen sich zum Beispiel in den drei Videos Schwingungen im Brett selbst feststellen, diese sind nicht nur Grundschrwingungen sondern entsprechen auch oft höheren Ordnungen. Da das Brett auch nicht immer hundertprozentig mittig getroffen wurde, sind auch Torsionsdrehbewegungen an ihm festzustellen, das heißt das Brett bekommt eine Rotationsschwingung längs der vertikalen Achse. Dies sind alles Faktoren, die bei der Betrachtung beachtet werden müssen, um sie sich erklären zu können. Gerade vorhin wurde der Wirkungsgrad erwähnt, dahinter verbirgt sich, dass auch Energie im menschlichen Körper selbst absorbiert wird. Das heißt, dass beispielsweise Person 3 mehr übertragen konnte als Person1 oder Person2, da die Absorptionsfähigkeit sich bei ihm etwas geringer hält. Jedoch ist diese Absorption bei allen drei Personen festzustellen, nämlich sobald der Schlag beendet ist ‚wächst‘ jeder der drei Testkandidaten um ein paar Zentimeter. Aus dieser Beobachtung lässt sich schließen, dass der Mensch sich bei diesem Schlag extrem staucht, um diese enormen Kräfte und Energien, die im Moment des Auftreffens auf ihn wirken heil zu überstehen. Dieses Stauchen lässt sich auch sehr gut an der Faust erkennen, man kann an dieser Stelle schon kaum mehr von einer Faust sprechen, denn im Zeitraum des Auftreffens ist die Faust extrem verformt.

Man stellt sich aber nun als letzte Frage noch warum die übertragene Energie von Person2 trotz der hohen Energie, die von ihm ausgeht, geringer ist als von Person1 und Person3. Ein Erklärungsansatz wäre, dass er seine Energie durch sein Gewicht, also seiner hohen Masse erreicht, und nicht mit seiner Geschwindigkeit, wie Person1 und Person3.

Allerdings sind dies nur Erklärungsversuche und Erklärungsansätze. Wenn man sie rechnerisch beweisen wollte, müsste man mehr auf die Eigenschaften des Makiwaras und auf die Mischung zwischen elastischen und unelastischen Stößen eingehen und die Biomechanik des Menschen, insbesondere seine Fähigkeit den Körper zu versteifen, genauer untersuchen. Eine bessere Abschätzung als die jetzige würde jedoch den Rahmen dieser Facharbeit bei weitem sprengen.

Vor und Nachteile am Programm „Coach6“

Nun ist der physikalische Teil der Arbeit abgeschlossen, jedoch möchte ich an dieser Stelle nicht einfach so abbrechen, sondern noch ein kleines Fazit in Bezug auf das von mir verwendete Videoanalyseprogramm abgeben.

Natürlich hat jedes Computerprogramm seine Vor- und Nachteile, jedoch fallen diese immer erst bei einer ausgiebigen und umfangreichen Benutzung des jeweiligen Programms auf. Da es sich bei dieser Facharbeitsthema um eine Videoanalyse handelt und ich somit auch einen ausführlichen Einblick in das von mir verwendete Videoanalyseprogramm, also ‚Coach 6‘, bekommen habe, ist es mir kurz vor Ende dieser Arbeit noch ein Anliegen ein paar Dinge, die mir positiv oder negativ aufgefallen sind dazu anzumerken.

Die Notwendigkeit sich in Computerprogramme einzuarbeiten, bevor man damit arbeiten kann, ist jedem bekannt. Aus diesem Grund sind auch bei vielen Programmen schon oft so genannte Tutorials, also Einführungen in die Programmoberfläche, vorhanden, jedoch fallen sie oft durch ihre Langwierigkeit und ihre komplizierten Erklärungen negativ auf. Bei ‚Coach 6‘ ist dieses Tutorial jedoch außerordentlich einfach aufgebaut, das heißt es ist sehr leicht zu durchschauen, da es den Benutzer Schritt für Schritt den richtigen Weg mit ausführlichen Erklärungen weist. Ich für meinen Teil konnte mir so die Fähigkeit zur Bedienung dieses Programms binnen weniger Stunden

aneignen. Nicht nur das Tutorial ist gut gelungen, auch die Fähigkeit des Programms viele gängige Videoformate zu erkennen, beispielsweise .avi- oder .mpg- Dateien, ist positiv anzumerken. Da es sich um ein Schul- und Schülerprogramm handelt ist es auf jeden Fall ein Gewinn, dass man schon innerhalb weniger Minuten bei einfachen Analysen Erfolgserlebnisse hat, da man relativ schnell präsentierbare Ergebnisse bekommt. Dies ist nicht zuletzt durch die zahlreichen analytischen Funktionen, wie zum Beispiel das Ableiten und Integrieren der Ergebnisse oder die Fähigkeit sie graphisch darzustellen und gegebenenfalls zu glätten, möglich.

Jedoch stellt das Programm den Benutzer bei ausführlicheren Untersuchungen und Arbeiten vor gewisse Probleme und weist auch Mängel auf. Für einfache Untersuchungen mögen die maximal sechs vorhandenen Analyseergebnisse langen, jedoch stößt man bei ihnen bei der Verfolgung mehrerer Punkte schon an ihre Grenzen. Dies stellt auch ein Problem dar, da eine wirklich übersichtliche Einsicht aller Ergebnisse einfach nicht möglich ist. Aus diesem Grund wurden alle Tabellen nach Excel übertragen. Dies stellte jedoch das nächste Problem dar, denn ein direkter Export (der z.B. bei dem viel einfacheren Programm Viana eingebaut ist) war nicht möglich. Der Export funktionierte nur über eine Zwischendatei eines anderen Formates, was eine Reihe von Neuformatierungen notwendig machte. Das Programm gibt auch die Möglichkeit Tabellen als Diagramme darzustellen, jedoch ist eine eindeutige Beschriftung sehr schwierig und umständlich zu erreichen. Daher ist es empfehlenswert die Tabellen in Excel zu exportieren und dort als Diagramm zeichnen zu lassen. Bei einem Vergleich der von mir in Excel abgeleiteten und der mit Hilfe des Programms ‚Coach 6‘ abgeleiteten Funktionen ergibt sich das nächste Problem, da sich die Werte der beiden Methoden partiell unterscheiden. Da jedoch die Variante über die Excel- Tabellen abzuleiten und weiter zu verarbeiten, einfacher erscheint, werden alle Diagramme und Ableitungen auf diese Weise vorgenommen.

Dies sind einige Punkte, die mir bei der Verwendung dieses Programms aufgefallen sind. Insgesamt ist das Programm, zu mindestens nach meiner Meinung, für schulische, kleinere Auswertungen durchaus geeignet, jedoch wünscht man sich bei umfangreicheren Versuchsreihen eine übersichtlichere

Benutzeroberfläche und eine höhere Kompatibilität zu weiterführenden Standardprogrammen.

Weiterführende Aspekte

Nach Beendigung des Hauptteils ist zwar meine Untersuchung abgeschlossen, jedoch ergeben sich an einigen Stellen Ansatzpunkte, bei denen ein Wissenschaftler durch weiterführende Untersuchungen noch offene Ungereimtheiten klären könnte, beispielsweise die große Differenz zwischen der vom Menschen aufgewendeten und der auf das Makiwara übertragenen Energie, oder warum der Schlag von Person2 trotz hoher Energie schwächer war als der, der anderen zwei Testkandidaten.

Jedoch ergeben sich aus dieser Untersuchung nicht nur für den Wissenschaftler Erkenntnisse, sondern auch für Sportwissenschaftler, da diese die Bewegungen genau analysieren können und sie anschließend versuchen können die Bewegungen auf ein bestimmtes Ziel hin zu verbessern, zum Beispiel eine maximale Energieübertragung.