

# alfred heubeck:

## Physikalische Überlegungen zu verschiedenen Karatetechniken.

### Vorbemerkung

Die dynamische Entwicklung des Karate auf der einen Seite, gemeinsame Meisterschaften der verschiedensten Stilrichtungen auf der anderen Seite zwingen Trainer und Kampfrichter über die subjektiven Kriterien unterschiedlichster Lehrmeinungen hinweg nach objektiven Maßstäben zur Beurteilung der verschiedenen Karatetechniken zu suchen.

Ein guter Weg scheint dafür eine physikalische Untersuchung der einzelnen Bewegungen zu sein. Exakte Aussagen lassen sich selbstverständlich erst nach genauen biomechanischen Aufschlüsselungen der komplizierten Bewegungsabläufe machen. Dies erfordert jedoch aufwendige Experimente, bei denen mit Hilfe von Photographien, Filmen, physikalischen und physiologischen Messungen Einzeltechniken analysiert und optimalisiert werden können. (Beispiel: siehe Literaturliste (1)!) Diese genaue Analyse erfordert extrem viel Zeit und Arbeitsaufwand und außerdem hohe finanzielle Investitionen durch teure Geräte und Materialien.

Deshalb sollen in der folgenden Arbeit nur einige physikalische Grundüberlegungen angedeutet und einige Probleme aufgezeigt werden. An einigen Stellen werden wohl auch Fragen aufgeworfen werden, die offensichtlich noch ungelöst sind und genauerer Untersuchungen bedürfen.

## I. Aufgabe der Karatetechniken

Das erste Problem taucht auf, wenn man nach der Hauptaufgabe einer optimalen Karatetechnik fragt. Für eine gute Abwehrtechnik ist die Antwort noch relativ leicht zu finden:

Eine gute Abwehrtechnik muß schnell und stark genug sein, einen Angriff abzulenken und einen Gegenangriff vorzubereiten. Deshalb stellt sich hier nur die Frage nach der idealen Angriffs- und Kontertechnik. In vielen Sportarten ist das Problem einfach definiert: die beste Hochsprungtechnik ist die, die den höchsten Sprung erlaubt. Damit soll nicht gesagt sein, daß es einfach ist, diese Technik zu finden, jedoch die Zielsetzung ist klar. Beim Karate ist es bereits schwierig, klar ein solches Ziel anzugeben. Karate kann als Selbstverteidigung, als Kampfsportart oder als reine Körpererertüchtigung betrieben werden. Dabei sind natürlich die einzelnen Aspekte für die meisten Aktiven gleichzeitig, wenn auch von unterschiedlicher Bedeutung. Eine Folge dieser verschiedenen Aufgabenstellungen sind differenzierte Anforderungen an eine optimale Angriffstechnik.

### 1. Selbstverteidigung

- a) Das Ziel soll mit maximaler "Zerstörungsenergie" (Verformung) getroffen werden können.
- b) Die Bewegungsenergie soll so gut wie möglich auf den Gegner übertragen werden können.
- c) Beim Auftreffen auf das Ziel mit der Handkante, Faust, Fußballen usw. müssen die auftretenden Kräfte ohne Verletzung ertragen werden können.

### 2. Kampfsportart

- a) Die Technik muß gestoppt werden können, um den Trainingspartner zu schonen und Wettkämpfe möglich zu machen. Dabei soll das Stoppen räumlich und zeitlich möglichst kurz nach dem Erreichen der maximalen Energie erfolgen und an einer genau bestimmten Stelle- wenige Millimeter vor dem Zielpunkt- abgeschlossen sein.
- b) Die Techniken müssen so ausgeführt werden, daß man sie auch im Wettkampf verwenden kann. So können taktische Gesichtspunkte zur Abweichung von der physikalisch besten Technik führen:
  - (1) Die Idealbewegung ist vom Wettkampfgegner frühzeitig zu erkennen.

- (2) Eine große Ausholbewegung erlaubt zwar auf dem langen Beschleunigungsweg eine große Geschwindigkeit zu erreichen, die Gesamtzeit für den ganzen Bewegungsablauf wird jedoch groß. Ein Verkleinern der Ausholbewegung ermöglicht eine kürzere Bewegungsdauer, verringert jedoch die erreichbare Bewegungsenergie.
- (3) Der Abschluß der Technik muß so gestaltet sein, daß beim Mißlingen des Angriffs das Gleichgewicht gewahrt bleibt und weitere Techniken erfolgen können.

### 3. Körperertüchtigung

Jede Bewegung und jede Haltung muß so sein, daß die auftretenden Kräfte von Muskeln, Sehnen und Gelenken ausgehalten werden können. (Dies ist nicht selbstverständlich und teilweise problematisch, wie man an späteren Berechnungen sehen wird.)

## II. Zielregion und Angriffstechnik.

Beim Kapitel I sind kurz die wichtigsten Punkte angerissen worden, die bei der Suche nach der idealen Technik eine Rolle spielen. Die taktischen Gesichtspunkte können bei einer physikalischen Analyse nur in ganz geringem Maße erfaßt werden, zumal bei einer Kampfsportart das Verschleiern der Bewegungsabsicht und somit die Abweichung von der Bewegungsnorm von hoher Bedeutung ist. Darüber hinaus besteht ein gewichtiger Zusammenhang zwischen der benützten Angriffstechnik und dem Angriffsziel, der vor allem bei der Selbstverteidigung eine Rolle spielt. So kann mit Nukite zwar auf Grund der kleinen Angriffsfläche ein hoher Druck erzeugt werden, aber wegen der Schwäche der Fingergelenke bleibt die Kraft beschränkt. Die Folge davon ist, daß Nukite nur für extrem weiche und sehr empfindliche Körperteile als Angriffsziel geeignet ist.

Dieser Fragenkomplex, der einen Zusammenhang von Angriffstechnik und Angriffsziel herstellt, erfordert sehr genaue medizinische Kenntnisse und kaum physikalische Analysen. Deshalb soll er bei der weiteren Behandlung ausgeklammert werden.

### III. Physikalische Größen.

Im folgenden Kapitel werden die in dieser Arbeit wichtigen physikalischen Größen kurz tabellarisch zusammengefaßt und vorgestellt. Zusätzliche Informationen über die verwendeten Größen, Rechnungen oder Herleitungen von Formeln können bei Bedarf den Informationskästen entnommen werden.

#### 1. Grundgrößen (Basiseinheiten und Basisgrößen)

Name	Buchstabensymbol	Einheit mit Abkürzung	
Länge	s	Meter	m
Zeit	t	Sekunde	s
Masse	m	Kilogramm	kg

#### 2. Abgeleitete Größen

Name	Buchstabensymbol	Einheit mit Abkürzungen	
Kraft	F	Newton	$1\text{N} = \frac{1\text{ kg m}}{\text{s}^2}$
Druck	p	Pascal	$1\text{ Pa} = \frac{1\text{ N}}{\text{m}^2}$
Geschwindigkeit	v	$\frac{\text{Meter}}{\text{Sekunde}}$	$1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
Beschleunigung	a	$\frac{\text{Meter}}{(\text{Sekunde})^2}$	$1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

#### 3. Erhaltungsgrößen

Größe	Formel	Konstante
a) Energie	(1) Kinetische Energie Bewegungsenergie $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} mv^2$	
	(2) Potentielle Energie $E_{\text{pot}} = Gh = mgh$ $E_{\text{pot}} = \frac{1}{2} Ds^2$	Höhenenergie G:= Gewicht g:= Ortsfaktor Verformungsenergie elastisch
	(3) Wärmeenergie in Form einer bleibenden Verformung keine Formel	
b) Impuls	P = mv	
c) Drehimpuls	L = mrv · sin( $\vec{r}; \vec{v}$ ) = mrv · sin α	

## Informationskasten 1

(Kraft F, Geschwindigkeit v, Beschleunigung a)

### 1) Kraft F

Kräfte erkennt man ihren Wirkungen:

- Kraftwirkungen:
- (1) Beschleunigung von Körpermassen
  - (2) Abbremsen von Körpermassen (negative Beschleunigung)
  - (3) Richtungsänderung von bewegten Körpern
  - (4) Elastische Verformung von Körpern  
d.h. der Körper nimmt die ursprüngliche Form wieder an, sobald keine Kraft mehr auf ihn wirkt.
  - (5) Unelastische Verformung von Körpern  
d.h. der Körper behält seine neue Form, auch wenn die Krafteinwirkung aufgehört hat.

(1), (2) und (3) sind Bewegungsänderungen

(4) und (5) Formänderungen.

Kraftmessung: (1) dynamisch  $F = ma$  ( $\vec{F} = m\vec{a}$ )

$$[F] = [m] \cdot [a] = 1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \frac{1 \text{ m}}{\text{s}^2}$$

1 Newton ist die Kraft, die der Masse 1kg in der Zeit von 1s die Geschwindigkeit  $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  mehr verleiht.

(1 N entspricht dem Gewicht von 100g )

Bei gleicher Masse ist die Kraft umso größer, je größer die Beschleunigung ist.

#### (2) statisch

Die Verlängerung einer Feder ist proportional zu der auf die Feder wirkenden Kraft.

So kann eine Feder zur Kraftmessung verwendet werden.

### 2) Geschwindigkeit

$$v = \frac{ds}{dt} = \frac{s}{t} = \frac{\text{zurückgelegte Strecke}}{\text{benötigte Zeit}}$$

### 3) Beschleunigung

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{\text{Geschwindigkeitsänderung}}{\text{benötigte Zeit}}$$

## Informationskasten 2

(Energie, Impuls, Drehimpuls)

Neben den mit Hilfe von Längen- und Zeitmessung direkt meßbaren Größen, wie Weg, Zeit und Geschwindigkeit, verwendet der Physiker "Erhaltungsgrößen", die sich aus den genannten Größen, in den hier wichtigen Fällen recht leicht berechnen lassen. Diese Größen heißen Erhaltungsgrößen, da sie in einem geschlossenen System in ihrer ursprünglichen Größe erhalten bleiben. Auf Grund dieser Tatsache lassen sich mit ihrer Hilfe Größen berechnen, die einer direkten Messung nur schwer zugänglich sind.

An einem Beispiel soll dies kurz klargemacht werden:

Aus der Masse und der Geschwindigkeit eines Tennisballes läßt sich leicht sein Impuls und seine Bewegungsenergie ausrechnen. Kennt man jedoch diese Größen, lassen sich leicht die Kräfte abschätzen, die beim Aufprall auf eine Wand auftreten, obwohl der Vorgang des Aufpralls so schnell abläuft, daß er direkt kaum zu beobachten ist. Diese Eigenschaft soll in den späteren Kapiteln ausgenützt werden.

Jetzt zu den einzelnen Größen:

### 1. Energie

Energie kann in vielen verschiedenen Formen auftreten. Für dieses Thema sind nur wichtig:

a) Kinetische Energie (Bewegungsenergie)

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m v^2 \quad [E] = 1 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 1 \text{ J}$$

b) Potentielle Energie

Lageenergie, Höhenenergie

$$E_{\text{pot}} = Gh = mgh \quad [E] = 1 \text{ N m} = 1 \text{ J}$$

G: Gewicht in Newton

g: Erdbeschleunigung

$$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Spannenergie

$$E_{\text{sp}} = \frac{1}{2} D \cdot s^2$$

D: Federkonstante (Konstante, die von der verwendeten Feder abhängt)

s: hier die Verlängerung der Feder

c) Wärmeenergie

Eine Masse hat Bewegungsenergie auf Grund ihrer Geschwindigkeit. Sie erhält Bewegungsenergie, wenn sie beschleunigt wird. Eine Masse erhält Lageenergie, wenn sie hochgehoben wird. Wird sie fallengelassen, wird beim Fall die Lageenergie in Bewegungsenergie umgewandelt.

Ein Körper wird durch Reibung oder Verformung erwärmt, er erhält Wärmeenergie. Meistens wird im folgenden die Wärmeenergie indirekt dadurch berechnet, daß der Verlust an Bewegungsenergie ermittelt wird.

2. Impuls

$$\vec{P} = m\vec{v}$$

$$P = mv$$

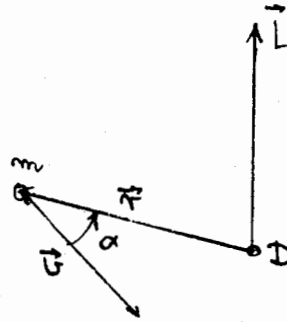
3. Drehimpuls

$$\vec{L} = m \cdot \vec{r} \times \vec{v}$$

$$L = m \cdot r \cdot v \cdot \sin \alpha$$

$\vec{r}$  und  $\vec{v}$  liegen in einer

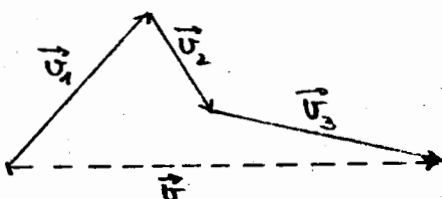
Ebene,  $\vec{L}$  steht senkrecht auf der Ebene,  $\alpha$  ist der kleinere Winkel zwischen  $\vec{r}$  und  $\vec{v}$ , Bezugspunkt ist der Drehpunkt D.



Informationskasten 3

(Vektoren)

Bei vielen physikalischen Größen kommt es nicht nur auf ihren Betrag, sondern auch auf ihre Richtung, und manchmal auch auf ihren Angriffspunkt an. Mit diesen Größen läßt sich zeichnerisch besonders leicht arbeiten. Man zeichnet sie als Pfeile, deren Länge den Betrag verdeutlicht, die Pfeilspitze die Richtung angibt und der Pfeilanzfang den Angriffspunkt. Vektoren werden durch einen kleinen Pfeil über dem Buchstabensymbol gekennzeichnet. Vektoren sind Kräfte, Geschwindigkeiten, Impuls u.s.w. Mehrere Kräfte kann man zeichnerisch addieren, indem man die Pfeile aneinanderzeichnet. Das Ergebnis ist ein Pfeil, der am Pfeilanzfang des ersten Pfeiles beginnt und seine Spitze an der Spitze des letzten Pfeiles hat.



$$\vec{u}_1 + \vec{u}_2 + \vec{u}_3 = \vec{u}$$

IV. Abschätzung der maximalen Angriffsenergie bei verschiedenen Techniken.

Zur Berechnung der kinetischen Energie einer Karatetechnik nach der Formel  $E_{kin} = \frac{1}{2} mv^2$  benötigen wir zwei Größen, die Geschwindigkeit und die bewegte Masse.

Die Messung der mittleren Geschwindigkeit läßt sich relativ leicht mit Lichtschranken oder mit photographischen Meßmethoden ermitteln. Die hier angegebenen Werte stammen aus der Zeitschrift Spektrum der Wissenschaft.(2)

Geschwindigkeiten

Technik	Geschwindigkeit in $\frac{m}{s}$
Tsuki	5,7 - 9,8
Tetsui	10,0 - 14,0
Handkante	10,0 - 14,0
Mae-Geri	9,9 - 14,4
Yoko-Geri	9,9 - 14,4

Etwas komplizierter ist die Angabe der Massen. Hier treten zwei Probleme auf. Einmal ist die Masse von Mensch zu Mensch verschieden. Doch diese Schwierigkeit ist relativ leicht behebbar. Die Biomechanik hat durchgemessen, wieviel Prozent des Gesamtgewichts beispielsweise ein Unterarm bei einer durchschnittlichen Figur ausmacht. Dem Buch von D.D. Donskoi (3) sind die folgenden Angaben entnommen:

Massen

Körperteil	Masse in %	Masse in kg bei 80kg Gesamtmasse
Faust	1	0,8
Unterarm	2	1,6
Oberarm	3	2,4
Rumpf	43	34,4
Kopf	7	5,6
Oberschenkel	12	9,6
Unterschenkel	5	4
Fuß	2	1,6

Das zweite größere Problem steckt in der Tatsache, daß sich beispielsweise beim Fauststoß jeder Teil des Armes mit einer anderen Geschwindigkeit bewegt, wobei die Faust die größte und der Oberarm und die Schulter die kleinste Geschwindigkeit erreichen. Man sieht, daß die folgenden Berechnungen nur Abschätzungen darstellen können. Dies stellt jedoch keine Einschränkung der Bedeutung der folgenden Berechnungen dar, deren Sinn ja nicht in der Erstellung eines genauen Zahlenmaterials, sondern in den Konsequenzen für die Ausführung der verschiedenen Techniken liegt.

Verschiedene Energiewerte:

Faust allein: Masse  $m = 0,8 \text{ kg}$ ;  $v = 5,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ;

$$E = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{0,8 \text{ kg} \cdot (5,7 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2} = 13 \text{ J}$$

Masse  $m = 0,8 \text{ kg}$ ;  $v = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ;

$$E = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{0,8 \text{ kg} \cdot (9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2} = 38 \text{ J}$$

Da die Angabe 13 J, bzw. 38 J dem physikalisch ungeübten Leser wenig sagen dürfte, hier eine kleine Umrechnung.

Wie am Anfang erklärt, lassen sich verschiedene Energieformen ineinander überführen. Man könnte die oben berechnete Energie verwenden um einen Stein hochzuwerfen, oder aber diese Energie könnte frei werden, wenn man einen Stein fallen läßt, den man vorher auf die passende Höhe hochgehoben hat.

Damit ergibt sich folgende Rechnung:

Höhenenergie  $E_{\text{Pot}} = mgh = E_{\text{Kin}}$  Bewegungsenergie, also

$$\frac{E_{\text{Kin}}}{mg} = h$$

Nimmt man als Masse des Steins 1kg und für  $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ , so ergibt sich für die 13 J eine Höhe  $h$

$$h = \frac{13 \text{ J}}{1 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 1,3 \text{ m}$$

für die 38 J eine Höhe  $h = 3,8 \text{ m}$ .

Das heißt die Faust allein hat bei einem Anfänger die gleiche Energie, wie ein Stein mit der Masse 1kg, der aus 1,3 m herunterfällt, beim Fortgeschrittenen aus einer Höhe von 3,8 m.

Hier wird bereits deutlich, welche große Rolle die Geschwindigkeit spielt. Ein Verdoppeln der Geschwindigkeit hat bereits die vierfache Energie zur Folge, wird die Masse verdoppelt steigt die Energie nur auf den doppelten Wert.

Deutlich kann dies bei weiteren Berechnungen der schnelleren Techniken wie Tetsui und Mae-Geri werden:

Tetsui:            Masse  $m = 0,8 \text{ kg}$     Geschwindigkeit  $v = 14 \frac{\text{m}}{\text{s}}$   
 $E = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,8 \text{ kg} \cdot (14 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 = 78 \text{ J}$   
(Ein Stein von 1kg fällt aus 7,8 m Höhe.)

Mae-Geri:            Masse  $m = 1,6 \text{ kg}$     Geschwindigkeit  $v = 14 \frac{\text{m}}{\text{s}}$   
 $E = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,6 \text{ kg} \cdot (14 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 = 157 \text{ J}$   
(Ein Stein fällt aus 16 m Höhe)

Alle diese Berechnungen haben jedoch einen entscheidenden Mangel, sie berücksichtigen nur die Masse und die Geschwindigkeit der Hand oder des Fußes. Will man eine genauere Abschätzung durchführen, muß die Masse und die Geschwindigkeit aller Körperteile einbezogen werden.

Da sich der Arm in der Nähe der Schulter kaum vorwärtsbewegt, die Geschwindigkeit aber bis zur Faust ständig zunimmt, soll vereinfachend angenommen werden, daß die Geschwindigkeit des Armes durchschnittlich halb so groß ist, wie die der Faust. Über die Geschwindigkeit des Rumpfes bzw. der Hüfte liegen keine Zahlen vor, so daß als Geschwindigkeit einmal die Geschwindigkeit eines Fußgängers mit 5km pro Stunde (5km/h = 5000m/3600s = 1,4m/s)

und einmal die Geschwindigkeit eines gemütlichen Waldlaufes mit 10km/h (2,8 m/s) der Rechnung zugrunde liegen soll.

Da sich die kinetischen Energien addieren, ergibt sich die folgende Rechnung:

Gesamtenergie = Faustenergie + Armenergie + Rumpfergie + Restenergie \*

$$\begin{aligned}
E_g &= E_F + E_A + E_R + E_{\text{Rest}} \\
&= \frac{1}{2} \cdot 0,8 \text{ kg} \cdot (9,8 \text{ m/s})^2 + \frac{1}{2} \cdot 4 \text{ kg} \cdot (4,9 \text{ m/s})^2 + \frac{1}{2} \cdot 34,4 \text{ kg} \cdot (1,4 \text{ m/s})^2 \\
&\qquad\qquad\qquad + E_{\text{Rest}} \\
&= 38,4 \text{ J} + 48 \text{ J} + 33,7 \text{ J} + E_{\text{Rest}} \\
&\geq \underline{120 \text{ J}}
\end{aligned}$$

\* Der Kopf, die Beine, der Hals usw. bewegen sich auch nach vorne und liefern sicherlich noch einen kleinen Energiebeitrag.

Für die doppelte Geschwindigkeit der Hüfte ergibt sich jedoch der vierfache Wert für die Rumpfenergie, nämlich 135 J, und damit für die Gesamtenergie

$$E_G = 38,4 \text{ J} + 48 \text{ J} + 134,8 \text{ J} + E_{\text{Rest}} \geq 221 \text{ J}$$

Obwohl diese Zahlen grobe Abschätzungen darstellen, können doch ganz entscheidende Konsequenzen für die korrekte Ausführung der Techniken daraus gezogen werden:

1. Alle Körperteile müssen sich mit der maximalen Geschwindigkeit bewegen, und zwar so, daß die größte Geschwindigkeit genau gleichzeitig erreicht wird. Andernfalls kommt nur die Energie des Systems Arm-Faust oder die Energie der Hüfte zum tragen.
2. Die Bewegungsrichtung bei geraden Techniken muß exakt nach vorne gehen, da Bewegungen die von der geraden Angriffsrichtung abweichen, kaum zur resultierenden Gesamtenergie beitragen.
3. Da die Geschwindigkeit der Hüfte durch ihre hohe Masse wie aus der Rechnung ersichtlich- in sehr hohem Maße zur Gesamtenergie beiträgt, ist es wichtig, die Hüfte so schnell wie möglich zu bewegen. Dazu dürften zwei Komponenten beitragen:  
Zuerst einmal muß versucht werden, die Hüfte vom Start weg, ständig zu beschleunigen, dann jedoch muß in der letzten Phase ein kräftiger Impuls durch ein blitzartiges Strecken des hinteren Beines erfolgen, der die Hüfte noch einmal zusätzlich erheblich beschleunigt. Dieses Strecken muß mit der Armbewegung so koordiniert sein, daß Hüfte und Hand gleichzeitig ihr Geschwindigkeitsmaximum erreichen.  
Damit die Kraft des Beines tatsächlich die Hüfte optimal nach vorne schieben kann, ist ein tiefer Stand nötig. Bei einem hohen Stand würde die Kraft nach oben wirken. Einem zu tiefen Stand stehen anatomische und taktische Gesichtspunkte entgegen. Dazu kommt, daß die Reibung zwischen dem hinteren Fuß und dem Boden zu klein werden kann.  
(Ob dabei die Ferse am Boden bleiben muß, kann hier nicht entschieden werden. Bemerkungen dazu erfolgen später.)

4. Da die beschleunigende Kraft beschränkt ist, kann eine Erhöhung der Geschwindigkeit nur durch eine Verlängerung des Beschleunigungsweges erfolgen. Der Beschleunigungsweg ist durch die Bewegungsmechanik und taktische Gesichtspunkte nicht beliebig verlängerbar. Hier muß ein vernünftiger Kompromiß gefunden werden.
5. Bei der Energiebetrachtung taucht bereits das Problem um den Begriff "Kime" auf, der später noch einmal ausführlich in einem gesonderten Kapitel diskutiert werden wird. Die größte Energie hat der Körper in dem Moment, in dem Faust, Arm, Hüfte und Bein gleichzeitig ihre maximale Geschwindigkeit erreichen. Damit diese Energie des ganzen Körpers möglichst vollständig auf die Faust übertragen werden kann, ist eine maximale Versteifung aller beteiligten Gelenke durch eine blitzartig einsetzende Muskelspannung nötig. Diese Muskelanspannung führt aber zu einer rapiden Verlangsamung der Technik, die, als Abstoppen, die Bewegung innerhalb weniger Zentimeter zum Stillstand bringt. Man sieht, daß der Begriff Kime u.a. drei sich widersprechende Bewegungselemente enthält:

Maximale Geschwindigkeit  
Maximale Muskelanspannung  
Bewegungsstop.

Dabei müssen diese drei Elemente räumlich und zeitlich fast zusammenfallen.

#### 6. Zwei zusätzliche Bemerkungen

Ein qualitatives Experiment, die Abschätzung der Schlagwirkung der Technik Oi-Tsuki am Makiwara kann jedem Probanden die Bedeutung der Gesichtspunkte -maximale gleichzeitige Geschwindigkeit- Bein Strecken zur Geschwindigkeitsvergrößerung der Hüfte und Kime-praktisch verdeutlichen. Der Unterschied zwischen einer Technik, die alle oben erwähnten Elemente enthält und einer, bei der ein Element fehlt, wird auch ohne quantitative Auswertung offensichtlich.

Herr Nakayama hat bei seinen großen Lehrgängen 1980 und 81 in Deutschland die oben erwähnten Prinzipien in Form von Koordinationsübungen zum zentralen Thema seines Trainings gemacht. Diese Tatsache hat aus biomechanischer Sicht zwar keine Aussagekraft, zeigt aber welche hohe Bedeutung einer der erfahrensten Trainer der Welt diesen Aspekten beimißt.

## V. Energieübertragung

Im letzten Kapitel wurde die Bewegungsenergie der geraden Techniken untersucht. Da sich aber auch das sportliche Karate in seiner Bewertung an der hypothetischen Wirkung der Angriffe auf einen Gegner orientiert, kommt es nicht nur darauf an, eine maximale Bewegungsenergie zu erzeugen, sondern genauso starker Wert wird darauf gelegt, diese Energie möglichst vollständig- zumindestens theoretisch- auf den Gegner übertragen zu können. Dabei soll der Gegner möglichst wenig Bewegungsenergie aufnehmen und so stark wie möglich "verformt" werden. Diese Überlegungen sind notwendig, da sich die Bewertung der Techniken im sportlichen Wettkampf an ihrer theoretischen Wirkung orientieren muß, wenn Karate seinen Charakter als realistischer Kampfsport behalten soll. So ist eine möglichst exakte Kenntnis der möglichen Schlagwirkung notwendig, wenn man Kampfsituationen genau und gerecht bewerten will, und erst dies ermöglicht dann faire und verletzungsfreie Kämpfe.

Die überaus komplizierten Vorgänge bei der Energieübertragung durch Karatetechniken können selbstverständlich nur mit Hilfe von Geräten wie Makiwara, Sandsack, Stoßimpulsmeßgeräten, Schlagtests usw. gemessen werden. Dabei gibt es noch kein Gerät, das das Auftreffen auf einen Körper hinreichend genau simuliert. Die Folge davon ist, daß die Vorgänge beim Auftreffen noch unzureichend bekannt sind.

Trotzdem können die allgemeinen Stoßgesetze zur Beurteilung der physikalischen Zusammenhänge herangezogen werden und so viele Informationen liefern, daß eine hinreichend genaue Bewertung der Techniken möglich ist.

Für die auftretenden Probleme genügt die Anwendung der Stoßgesetze auf den Zusammenprall zweier Körper. Dazu betrachtet man modellhaft den Stoß zweier Kugeln oder den Aufprall einer Kugel auf eine feste Wand. Dabei unterscheidet man zwischen elastischen Stößen, das sind Stöße, bei denen die Kugeln sich nicht bleibend verformen, sondern nur kurz federn und dann ihre ursprüngliche Form wieder annehmen, ohne sich zu erwärmen (Modell: Billardkugeln) und unelastischen Stößen, bei denen sich eine oder beide Kugeln so stark verformen, daß sie nach dem Stoß zusammenkleben bleiben. (Modell: Knetgummikugeln.)

### 1. Der elastische Stoß

Zwei Kugeln mit den Massen  $m_1$  und  $m_2$  und den Geschwindigkeiten  $v_1$  und  $v_2$  prallen aufeinander. Nach dem Stoß haben sie im Idealfall ihre alte Form wieder angenommen und sich nicht erwärmt. Ihre Masse ist also nach wie vor  $m_1$  und  $m_2$ , jedoch ihre Geschwindigkeit hat sich geändert und ist jetzt  $u_1$  und  $u_2$ . Die gesamte Energie steckt nun immer noch in der Bewegungsenergie. Somit gelten die Gesetze von der Energieerhaltung und der Impulserhaltung in der folgenden Form:

$$(1) \text{ Energieerhaltung: } \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2$$

$$(2) \text{ Impulserhaltung: } m_1v_1 + m_2v_2 = m_1u_1 + m_2u_2$$

Die Auflösung dieser beiden Gleichungen nach den Unbekannten  $u_1$  und  $u_2$  wird durch einige Umformungen erleichtert.

$$(1) \begin{aligned} m_1v_1^2 - m_1u_1^2 &= m_2u_2^2 - m_2v_2^2 \\ m_1(v_1^2 - u_1^2) &= m_2(u_2^2 - v_2^2) \\ m_1(v_1 + u_1)(v_1 - u_1) &= m_2(u_2 + v_2)(u_2 - v_2) \end{aligned}$$

$$(2) \begin{aligned} m_1v_1 - m_1u_1 &= m_2u_2 - m_2v_2 \\ m_1(v_1 - u_1) &= m_2(u_2 - v_2) \end{aligned}$$

Teilt man die umgeformte Gleichung (1) durch die umgeformte Gleichung (2) so erhält man

$$(3) \begin{aligned} v_1 + u_1 &= v_2 + u_2 && \text{daraus folgt} \\ u_2 &= v_1 + u_1 - v_2 \end{aligned}$$

Aus der Gleichung (2) erhält man

$$u_2 = \frac{m_1v_1 + m_2v_2 - m_1u_1}{m_2} \quad \text{also}$$

$$\frac{m_1v_1 + m_2v_2 - m_1u_1}{m_2} = \frac{(v_1 + u_1 - v_2) \cdot m_2}{m_2}$$

$$m_1v_1 + m_2v_2 - m_1u_1 = m_2v_1 + m_2u_1 - m_2v_2$$

$$m_1v_1 + m_2v_2 - m_2v_1 + m_2v_2 = m_2u_1 + m_1u_1$$

$$\frac{2m_2v_2 + v_1(m_1 - m_2)}{m_1 + m_2} = u_1$$

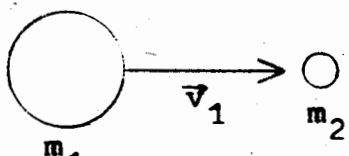
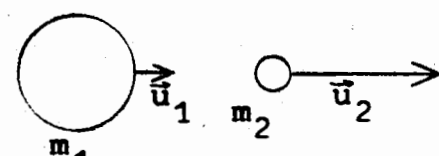
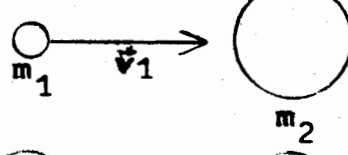
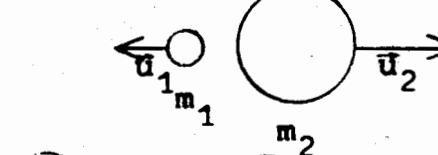
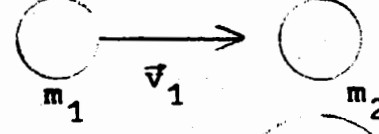
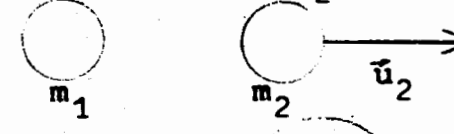
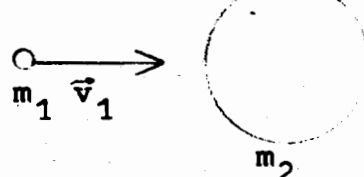
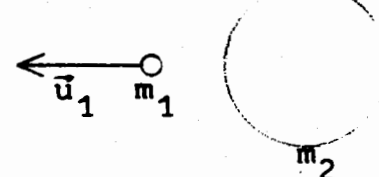
In analoger Weise erhält man

$$\frac{2m_1 v_1 + v_2(m_2 - m_1)}{m_1 + m_2} = u_2$$

Um leichter aus diesen Formeln praktische Konsequenzen abzulesen, soll im folgenden die zweite Kugel vor dem Stoß in Ruhe sein, d.h.  $v_2=0$ . Damit vereinfachen sich die beiden Formeln zu

$$u_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \cdot v_1 \quad u_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} \cdot v_1$$

Die wichtigsten Spezialfälle, die sich aus diesen Formeln ablesen lassen, werden in der folgenden Zeichnung kurz zusammengefaßt:

Massenverhältnisse	Bewegung vor dem Stoß	nach dem Stoß
$m_1 > m_2$		
$m_1 < m_2$		
$m_1 = m_2$		
$m_1 \ll m_2$		

Wenn man davon absieht, daß die Kenntnis des elastischen Stoß zum Verständnis des unelastischen Stoß notwendig ist, gibt es auch konkrete Kampfsituationen bei deren Beurteilung sie hilfreich ist. Dies soll an einem Beispiel deutlich gemacht werden: Ein Kämpfer greift mit einem relativ langsamen, aber starkem Yoko-Geri an und trifft mit einer großen Fläche, der ganzen Fußsohle, den gut angespannten Bauch des Gegners. Dann wird wahrscheinlich die Bewegung der Kämpfer nach dem Treffer sehr ähnlich zu der Bewegung der Kugeln oben sein, d.h. der Kleinere

wird als Angreifer zurückprallen, oder vielleicht als Verteidiger nach hinten umgeworfen. Jedoch ist eines zu Bedenken: Der größte Anteil der Energie ist auch nach dem Treffer noch in Form von Bewegungsenergie vorhanden und die verformende Schlagwirkung dementsprechend gering. Der Treffer darf also nicht gewertet werden.

Gerade also bei Kampfszenen, bei denen einer der beiden Kämpfer spektakulär nach hinten fliegt, ist also bei der Beurteilung ein gewisses Maß an Skepsis notwendig. Je mehr Bewegungsenergie die Beteiligten aufnehmen, desto weniger bleibt für die Verformung übrig.

## 2. Der unelastische Stoß

Zwei Kugeln mit den Massen  $m_1$  und  $m_2$  und den Geschwindigkeiten  $v_1$  und  $v_2$  prallen aufeinander, verformen sich, kleben aneinander und fliegen mit einer neuen Gesamtmasse ( $m_1+m_2$ ) und einer Geschwindigkeit  $v$  weiter. Da ein Teil der Bewegungsenergie bei der Verformung verloren geht, gilt nur der Impulssatz:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) \cdot v$$

Für die neue Geschwindigkeit ergibt sich also

$$v = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}$$

Da aber nicht die Geschwindigkeit, sondern die Verformung wichtig ist noch ein paar Überlegungen.

Die Bewegungsenergie vor dem Stoß ist bekannt, nämlich

$$E_{\text{vorher}} = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2$$

Nach dem Stoß ist die Bewegungsenergie

$$E_{\text{nachher}} = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) \cdot v^2 = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) \cdot \frac{(m_1 v_1 + m_2 v_2)^2}{(m_1 + m_2)^2}$$

$$E_{\text{nachher}} = \frac{(m_1 v_1 + m_2 v_2)^2}{2(m_1 + m_2)}$$

Die verlorene Bewegungsenergie steckt aber in der Verformung  $\Delta E$ .

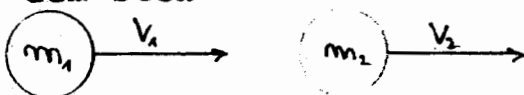
$$\begin{aligned}
 \Delta E &= E_{\text{vorher}} - E_{\text{nachher}} \\
 &= \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 - \frac{(m_1v_1 + m_2v_2)^2}{2(m_1 + m_2)} \\
 &= \frac{m_1v_1^2(m_1 + m_2) + m_2v_2^2(m_1 + m_2) - (m_1v_1 + m_2v_2)^2}{2(m_1 + m_2)} \\
 &= \frac{m_1^2v_1^2 + m_1m_2v_1^2 + m_2m_1v_2^2 + m_2^2v_2^2 - m_1^2v_1^2 - m_2^2v_2^2 - 2m_1m_2v_1v_2}{2(m_1 + m_2)} \\
 &= \frac{m_1m_2v_1^2 - 2m_1m_2v_1v_2 + m_1m_2v_2^2}{2(m_1 + m_2)} \\
 &= \frac{\frac{1}{2}m_1m_2(v_1^2 - 2v_1v_2 + v_2^2)}{(m_1 + m_2)} \\
 &= \boxed{\frac{m_1m_2(v_1 - v_2)^2}{2(m_1 + m_2)}} = \Delta E
 \end{aligned}$$

Diese Formel gilt in der obigen Form natürlich nur für unelastische Kugeln, die fast reibungsfrei zentral zusammenprallen. Bei zwei Kämpfern wird die Situation selbstverständlich wesentlich komplizierter, da im Fall einer nichtgestoppten Technik weder ein rein elastischer, noch ein rein unelastischer Stoß stattfinden würde, sondern eine Mischform. Auch das Modell der Kugeln ist sehr ungenau. Die Abweichungen werden dabei umso größer, je fester der Stand ist. Trotzdem können die im folgenden ausgewählten Spezialfälle bei der Beurteilung von Kampfsituationen eine Hilfe darstellen.

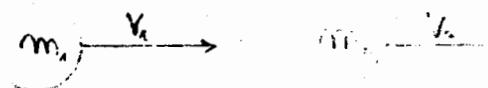
Bei den Berechnungen soll wieder das Modell der unelastischen Kugeln zugrunde liegen, als Massen werden aber Größen gewählt, die bei Kämpfern durchaus vorkommen können.

- (1) Beide Kugeln bewegen sich mit der gleichen Geschwindigkeit in die gleiche Richtung:

vor dem Stoß



nach dem Stoß




Es findet kein Stoß statt. Mit diesem trivialen Fall kann man die Formel testen:

$$\Delta E = \frac{m_1m_2(v_1 - v_2)^2}{2(m_1 + m_2)} = \frac{m_1m_2(0)}{2(m_1 + m_2)} = 0$$

(2) Die zweite Kugel ist in Ruhe:

vor dem Stoß

nach dem Stoß



$$E = \frac{m_1 m_2 (v_1 - 0)^2}{2(m_1 + m_2)} = \frac{m_1 m_2 v_1^2}{2(m_1 + m_2)}$$

Die Bewegungsenergie der ersten bewegten Kugel war

$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m_1 v_1^2$ , die zweite Kugel hatte keine Bewegungsenergie.

Der Vergleich der Bewegungsenergie mit der Verformungsenergie liefert dann besonders anschauliche Ergebnisse, wenn man mit konkreten Massen rechnet. Hierzu drei Beispiele mit möglichen Massen von Kämpfern:

1)  $m_1 = 80\text{kg}$        $m_2 = 80\text{kg}$

Bewegungsenergie:  $\frac{1}{2} 80\text{kg} v_1^2 = \underline{40\text{kg} v_1^2}$

Verformungsenergie:  $\frac{80 \cdot 80\text{kg}}{2(80+80)} v_1^2 = \underline{20\text{kg} v_1^2}$

$\frac{20\text{kg} v_1^2}{40\text{kg} v_1^2} = \frac{1}{2}$       Nur die Hälfte der Energie kann genutzt werden.

2)  $m_1 = 80\text{kg}$        $m_2 = 100\text{kg}$

Bewegungsenergie:  $\frac{1}{2} 80\text{kg} v_1^2 = \underline{40\text{kg} v_1^2}$

Verformungsenergie:  $\frac{80 \cdot 100}{2(80+100)} \text{kg} v_1^2 = \underline{22\text{kg} v_1^2}$

$\frac{22\text{kg} v_1^2}{40\text{kg} v_1^2} = 0,55$       Etwas mehr als die Hälfte der Bewegungsenergie kann genutzt werden.

3)  $m_1 = 80\text{kg}$        $m_2 = 60\text{kg}$

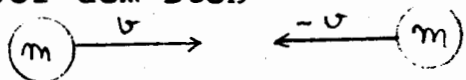
Bewegungsenergie:  $\frac{1}{2} 80\text{kg} v_1^2 = \underline{40\text{kg} v_1^2}$

Verformungsenergie:  $\frac{80 \cdot 60}{2(80+60)} \text{kg} v_1^2 = \underline{17\text{kg} v_1^2}$

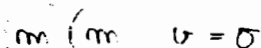
$\frac{17\text{kg} v_1^2}{40\text{kg} v_1^2} = 0,43$       Es kann weniger als die Hälfte der Bewegungsenergie genutzt werden.

- (3) Zwei Kugeln mit gleicher Masse und gleicher Geschwindigkeit rollen zentral aufeinander zu.

vor dem Stoß



nach dem Stoß



$$\Delta E = \frac{mm(v - (-v))^2}{2(m+m)} = \frac{m^2(2v)^2}{2(2m)} = mv^2 \quad (\text{Verformungsenergie})$$

Bewegungsenergie = Bewegungsenergie 1. Kugel +

Bewegungsenergie 2. Kugel =

$$\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}mv^2 = mv^2$$

Die gesamte Bewegungsenergie wird in Verformungsenergie umgewandelt. Zu beachten ist dabei jedoch, daß bei zwei unelastischen Kugeln jede genau die eigene Bewegungsenergie absorbiert, bei einem Zusammenstoß einer elastischen und einer unelastischen Kugel jedoch die unelastische Kugel die Bewegungsenergie von beiden zusammen aufnimmt.

- (4) Eine unelastische Kugel prallt auf eine feste Wand.

In diesem Fall ist die Bewegungsenergie vor dem Stoß  $\frac{1}{2}mv^2$  und nach dem Stoß 0, also ist die ganze Energie in Verformung umgewandelt worden.

Diese vier Spezialfälle können recht anschaulich interpretiert werden:

- 1.) Flieht ein Gegner kann fast keine Verformung bewirkt werden, auf einen stehenden Gegner kann etwa die Hälfte der Energie übertragen werden. Die größte Wirkung wird erzielt, wenn die Gegner aufeinander einstürmen, da unter Umständen die Bewegungsenergie beider in Verformung umgewandelt wird.
- 2) Bei verschieden schweren Gegnern kann auf den schwereren mehr Energie übertragen werden. Da aber die Widerstandsfähigkeit eines schwereren Gegners größer sein dürfte, werden sich beide Effekte teilweise aufheben. Außerdem besitzt der schwerere Gegner bei gleicher Geschwindigkeit beim Angriff auf Grund seiner größeren Masse eine größere Bewegungsenergie.
- 3) Ein am Boden liegender Gegner kann keine Bewegungsenergie aufnehmen, also wird die gesamte Energie in Verformung umgewandelt. Eine schwache Technik kann also trotzdem unter Umständen gewertet werden, da sie wahrschein-

lich immer noch eine größere Wirkung hervorrufen dürfte, als eine etwas stärkere Technik im Stand.

- 4) Aus physikalischer Sicht können beide Körper die Verformungsenergie aufnehmen. Theoretisch kann sie sich auf beide verteilen, es kann aber auch sein, daß ein Stoßpartner die gesamte Energie absorbiert. Man denke dabei an den Zusammenprall einer Stahlkugel mit einer Knetgummikugel. Es ist völlig gleichgültig, ob die Stahlkugel auf die Knetgummikugel prallt oder umgekehrt, auf jeden Fall wird nur die Knetgummikugel verformt werden. Es kommt also darauf an beim Auftreffen möglichst wenig verformt zu werden. Dies ist aber nur durch eine saubere Technik mit exakter stabilen Körperhaltung und maximaler Muskelspannung möglich. Aus dieser Sicht zeigt sich noch einmal die ungeheure Bedeutung eines starken Kime.
- 5) Führt man einen Gyaku-Tsuki als Kontertechnik durch, kann die Bewegungsenergie des Angreifers zusätzlich zur eigenen optimal genutzt werden, wenn der Stand so fest ist, daß der Gegner wie "auf eine Wand" aufläuft. Dann kommt zur Energie des Tsuki noch die gesamte Bewegungsenergie des Angreifers zur Wirkung. Voraussetzung aber dazu ist ein nach vorne absolut fester Stand mit starkem Kime beim Auftreffen. Dieser feste Stand ist aber nur gewährleistet, wenn das hintere Bein völlig gestreckt ist und die Ferse am Boden steht, da sonst der Körper federt. Für den Kontergyaku-Tsuki ist es also notwendig, die Ferse fest am Boden zu lassen.

## VI. Ein paar Gedanken zum Begriff Kime.

Wie bereits festgestellt, gehören drei gegensätzliche Aspekte zum Kime:

- Maximale Geschwindigkeit
- Maximale Muskelanspannung
- Bewegungsstop

Diese drei Elemente müssen durch gute Bewegungskoordination räumlich und zeitlich möglichst eng zusammenfallen.

Für alle drei Bewegungselemente finden sich Begründungen in den vorangegangenen Kapiteln.

Die starke Muskelanspannung beim Abstoppen hat aber noch eine ungeheure bei der Verhinderung von Langzeitschäden an den Gelenken. Hierzu eine stark vereinfachte Rechnung am Beispiel eines Tsuki. Nimmt man an, daß die Faust beim Tsuki mit der maximal zu Verfügung stehenden Kraft  $F$  auf einer Strecke von 50cm beschleunigt wird, so hat die Faust die Energie

$E = F \cdot 50\text{cm}$ . Will man die Faust auf 5cm abstoppen, so braucht man dazu eine Kraft  $K$ , die 10-mal so groß ist, bei 2,5cm sogar 20-mal so groß wie  $F$ , wie man an der folgenden Rechnung sehen kann:  $E = F \cdot 50\text{cm} = K \cdot 5\text{cm}$ , also ist  $K = 10 F$ .

Diese Kraft  $K$  muß von den Muskeln, Sehnen, Bändern und Gelenken aufgebracht werden. Wenn man bedenkt, daß man mit voller Muskelkraft beschleunigt hat, dann ist klar, daß die Muskelkraft allein nicht ausreicht, die Bewegung zu stoppen. Trotzdem müssen die Gelenke soweit wie möglich durch eine maximale Muskelanspannung entlastet werden, eine weitere Schonung der Gelenke kann nur durch eine exakte und gelenkschonende Bewegung erreicht werden. Dies gilt in besonderem Maße für die Knie und Ellenbogengelenke.

Beim Tsuki muß der Unterarm und der Ellenbogen ganz nahe am Körper und völlig gerade geführt werden, um die Kraftwirkung beim Abstoppen möglichst gleichmäßig auf das ganze Ellenbogengelenk zu verteilen. Bei Schnappbewegungen, wie Tetsui und Mae-Geri, Mawashi-Geri, muß durch eine extreme Gegenbewegung versucht werden ein "Anschlagen" des Gelenkes zu verhindern. Auch die Halsmuskulatur muß gut mit der Körperbewegung koordiniert stark gespannt werden, da sonst der Kopf auf Grund seiner großen Masse und der entsprechend großen Massenträgheit beim Abstoppen mit einer Art "Peitscheneffekt" nach vorne schlägt. (Dieser Fehler ist bei Anfängern sehr häufig zu beobachten)

Kurzfristige Folge dieses Fehlers sind Kopfschmerzen, langfristig

dürften Schäden an den Halswirbeln eintreten. Eine gute Halsgymnastik am Anfang des Trainings und eine wiederholte Lockerung im Trainingsverlauf können die Koordinationsfähigkeit steigern und die Gefahr mindern.

## VII. Drehimpulserhaltung

Bei den verschiedenen Karate- Stilen spielen Bewegungen auf Kreisbahnen und Rotationsbewegungen eine unterschiedlich wichtige Rolle, sie kommen aber bei allen Stilen vor und verdienen eine genaue Untersuchung. Obwohl jedoch die physikalischen Zusammenhänge noch relativ einfach sind, wird eine genaue Übertragung auf Karatetechniken ohne exakte Messungen und Experimente fast unmöglich, da praktisch alle physikalischen Parameter während der Bewegung ständig ihre Größe ändern und nicht auf Grund einfacher Erfahrungswerte abgeschätzt werden können.

Physikalische Gesetze:

(1) Drehimpulserhaltung:  $L = mrv$

Rotationsenergie:  $E_{\text{rot}} = \frac{1}{2} \omega^2 \int r^2 dm$

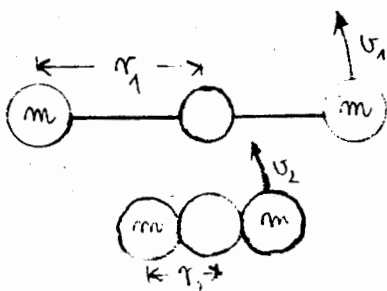
Um also eine Rotationsenergie zu berechnen müßte man die Drehachse genau kennen, die Rotationsgeschwindigkeit und nicht nur die Körpermasse, sondern auch ihren exakten Abstand jeweils von der Drehachse. Da nicht eine einzige dieser Größen bekannt ist, sind quantitative Überlegungen illusorisch. Einigen qualitative Überlegungen lassen sich jedoch durchführen.

Zuerst jedoch eine Erläuterung zum Drehimpuls:

Der Drehimpuls bleibt während einer Bewegung erhalten, das heißt:

$$m_1 v_1 r_1 = m_2 v_2 r_2$$

Stellt man sich einen Eisläufer vor, der in beiden Händen die Masse  $m$  hält, während er eine Pirouette dreht, und stellt man sich weiter vor die Masse  $m$  sei so groß, daß die Körpermasse keine große Bedeutung mehr hat, so kann man vorhersagen, daß der Eisläufer mit der vierfachen Geschwindigkeit weiterdrehen wird, wenn er seine Hände auf ein viertel des Abstands an seinen Körper heranzieht.



$$r_2 = \frac{1}{4} r_1$$

$$mr_1 v_1 = mr_2 v_2$$

$$r_1 v_1 = r_2 v_2$$

$$r_1 v_1 = \frac{1}{4} r_1 v_2$$

$$\boxed{4v_1 = v_2}$$

Für Karatetechniken lassen sich aus den physikalischen Grundfakten der Drehimpulserhaltung einige Folgerungen ziehen:

(1) Nichtgeradlinige Techniken:

Verschiedene Techniken wie Uraken-Uchi, Mae-Geri, Kawashi-Geri usw., beginnen fast gerade, dh. der Radius  $r$  ist sehr groß. Dann jedoch erfolgt eine Schnappbewegung um das Ellenbogen- bzw. das Kniegelenk und damit wird der Radius so groß wie der Unterarm (oder der Unterschenkel). Dadurch verkleinert sich der Bewegungsradius enorm und im gleichen Maße steigt die Geschwindigkeit der Bewegung und zwangsläufig auch die kinetische Energie.

Die wichtige Schlußfolgerung für diese Techniken ist also: Schnapptechniken möglichst geradlinig einleiten!

(2) Drehungen bei Sprüngen und Ushiro-Geri

Während der Drehung müssen Arme und Beine möglichst nahe an den Körper herangezogen werden, damit wird der Radius klein und die mögliche Drehgeschwindigkeit hoch. Spreizt man jetzt nach einem Sprung die Beine zur Landung in einer Karatestellung plötzlich ab, streckt man dazu die Arme zu einer Technik aus, so wird mit der schnellen Vergrößerung des Drehradius die Rotation fast schlagartig so langsam, daß eine langsame sichere Landung nicht mehr schwer ist.

Beim Ushiro-Geri wird die Drehung durch das Strecken des Beines und ein leichtes Abspreizen der Arme im Moment des Auftreffens extrem verlangsamt, beim starken Zurückziehen wieder beschleunigt und damit eine kontrollierte und schnelle Gesamtbewegung ermöglicht.

(3) Bewegungen mit Gegenbewegung

Vor jeder Bewegung im Stand ist der Drehimpuls 0, also muß der gesamte Drehimpuls während der Bewegung ebenfalls Null sein. Dieser Sachverhalt scheint nur auf den ersten Blick verblüffend. Steht nämlich der Kämpfer fest auf dem Boden, so hat sein Körper einen Drehimpuls in die eine Richtung, mit seinen Beinen aber überträgt er einen Drehimpuls in entgegengesetzte Richtung auf den Boden, der aber wegen der großen Masse nicht mehr merkbar wird.

Anders sieht die Sache aber bei schwachem Stand, wie bei Fußstößen, oder bei Sprüngen aus. Hier ist eine starke Gegenbewegung nötig: da der Drehimpuls insgesamt 0 sein muß, kann also der Drehimpuls der eigentlichen Bewegung nur so groß sein, wie der Drehimpuls der Gegenbewegung. So ist es beim Uraken-Uchi im Sprung sinnvoll mit der großen Körpermasse eine Gegenbewegung

auszuführen, die dann bei gegebenem Radius und gegebener Masse des Armes zu einer schnelleren Bewegung führen muß.

(Dieses Prinzip der starken Gegenbewegung findet man bei sehr vielen anderen Sportarten ebenfalls, zB. Schwünge beim Skifahren.)

Doch noch eine quantitative Überlegung:

Während es bei den geraden Techniken relativ leicht ist, die Körpermasse mit in die Technik einzubringen, hängt die Übertragung der Rotationsenergie des Körpers erheblich von der Versteifung des Ellenbogen- und Schultergelenks ab. Die Kraftwirkung kann zwangsläufig nicht größer sein, als die Haltekraft beider Gelenke. Betrachtet man aber die Energie von Faust und Unterarm bei Uraken-Uchi für sich allein, so ergibt sich:

$$E_{\text{Faust}} = \frac{1}{2} m v^2 = 0,5 \cdot 0,8 \text{kg} \cdot 14^2 \text{m}^2/\text{s}^2 = 78,4 \text{ J}$$

$$E_{\text{unterarm}} = 0,5 \cdot 1,6 \text{kg} \cdot 7^2 \text{m}^2/\text{s}^2 = \underline{39,2 \text{ J}}$$

$$\text{insgesamt also } E = 117,6 \text{ J}$$

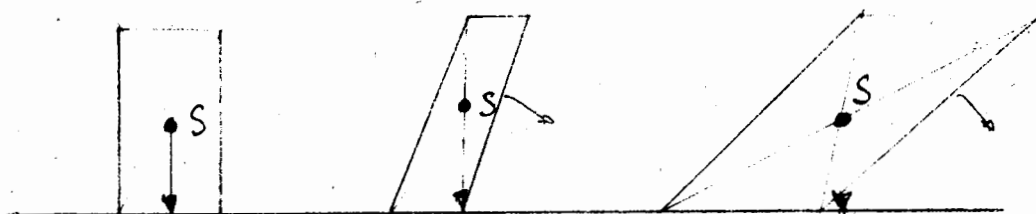
wobei sogar angenommen wurde, daß der Unterarm nur halb so schnell ist wie die Faust. Damit ergibt sich eine Energie, die etwa 2/3 der Energie eines Tsukis ausmacht.

Für den Kampfrichter ergibt sich damit die Frage, ob bei einer Uraken-Uchi Technik überhaupt ein Hüfteinsatz von der Wirkung her relevant ist.

VIII. Stand und Gleichgewicht

(1) Stabiles Gleichgewicht

Ein Körper steht stabil, wenn sein Schwerpunkt über der Grundfläche ist.



stabil

indifferent

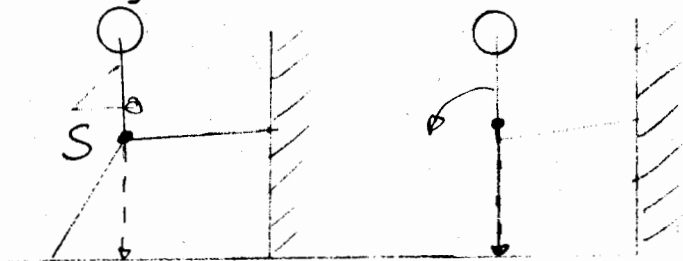
kippt sicher

kippt nicht

kippt leicht

kippt sicher

Bei Fußtechniken muß also der Schwerpunkt vor dem Standbein liegen und nicht über dem Standbein, denn nur dann ist das Gleichgewicht stabil.

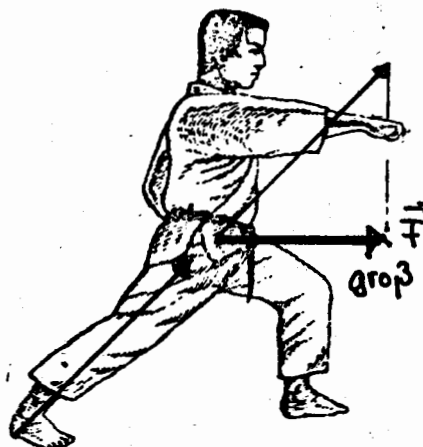


stabil

Kämpfer kippt nach hinten

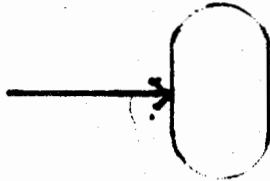
(2) Die Bedeutung eines tiefen Standes vor dem Schritt und beim Ende des Schrittes.

Ein sehr großer Anteil der Kraft bei der Vorwärtsbewegung kommt von der Streckung des hinteren Beines. Die Krafrichtung geht dabei ungefähr von der Standfläche des hinteren Beines zum Schwerpunkt. Zur Bewegung trägt aber nur die Komponente nach vorne bei. Diese ist aber umso größer, je tiefer der Stand ist. Siehe dazu die Skizzen. Die Kraft wird dabei gleich groß angesetzt.

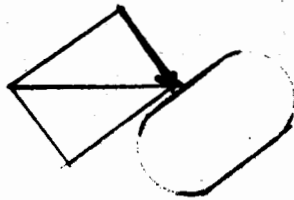


(3) Stoßrichtung und Zielfläche

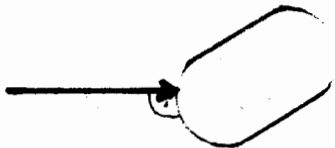
Die ganze Stoßkraft kann nur wirken, wenn die Stoßrichtung senkrecht zur Trefferfläche steht. Besser als viele Worte zeigen den Sachverhalt die folgenden Vektorzerlegungen:



die ganze Kraft kommt zur Wirkung



nur der stärker gezeichnete Anteil wirkt



die Zielregion ist möglicherweise ungünstig, aber die gesamte Kraft kommt zur Wirkung

## IX Kritische Schlußbemerkung

Die vorliegende Arbeit hat versucht einige Gedanken aus der Sicht der Physik dazu zu verwenden, Karate-Prinzipien verständlicher zu machen. Dem kritischen Leser ist jedoch sicherlich klar geworden, daß jeder Versuch einer exakten Erklärung mehr Fragen aufwirft, als er Antworten geben kann. Doch gerade deshalb ist es notwendig, sich daran zu machen, die Karate-Prinzipien nach physikalischen und biomechanischen Gesetzmäßigkeiten hin zu untersuchen. Dabei sind in dem vorliegenden Aufsatz noch folgende Fragen absichtlich nicht gestellt worden:

- 1.) Wie lassen sich die Gelenke versteifen? Uraken, Elastizität bei der Impulsübertragung
- 2.) Welche Zusammenhänge bestehen zwischen einer physikalisch idealen Bewegung und einer idealen Bewegung des Muskel- und Skelettapparates?
- 3.) Wie können die Hebel des Skelettapparates ideal eingesetzt werden?
- 4.) Wie können Verletzungen und Abnützungerscheinungen minimalisiert werden?
- 5.) Welcher Zusammenhang besteht zwischen Zielregion (Atempunkte), Angriffsfläche und Angriffstechnik?

Wenn jedoch der Aufsatz bei der einen oder anderen Frage eine kleine Hilfestellung gegeben hätte, wäre sein Ziel schon erreicht.

Darüber hinaus wäre ich dankbar für kritische Anmerkungen, weiterführende Gedanken und zusätzliche Untersuchungsergebnisse.

*Hubert*

### Literatur:

1. Karate, Heft 2/81 Karate als Arbeitsfeld der Biomechanik  
Stücke, H; Trogauer, K.-G.;
2. Spektrum der Wissenschaft, 6/79 Die Physik des Karateschlages  
M.S.Feld; R.E.McNair, S.R.Wilk
3. D.D.Donski, Grundlagen der Biomechanik, Bartels & Wernitz 75
4. F.Bork und N.Schiffer, Karate-Technik und Wirkung, Karate Revue