

再生館

KARATE

再生館

EN DE  
FORMULES UIT DE FYSICA

DIT DOCUMENT WERD OPGESTELD VOOR KARATECLUB OUDENAARDE

SAI SEI KAN

SAI SEI KAN

AUTEUR: VEERLE GELLENS

ILLUSTR.: LEEBTE COTTENZ

## Inhoudsopgave

<b>Inleiding</b> .....	<b>3</b>
<b>1 De krachtstoot</b> .....	<b>4</b>
1.1 Impuls $p$ en krachtstoot $I$ .....	4
1.2 Snelheid $v$ .....	6
1.3 Optellen van snelheden.....	6
1.4 Kracht $F$ en de 3 Wetten van Newton .....	7
1.4.1 De eerste wet van Newton: de wet van de traagheid.....	7
1.4.2 De tweede wet van Newton: kracht verandert de beweging .....	7
1.4.3 De derde wet van Newton: actie = - reactie.....	8
1.4.4 Kracht is een vector .....	9
1.5 Terug naar impuls en krachtstoot .....	9
1.6 Druk $P$ .....	10
1.7 Draaibewegingen.....	12
1.7.1 Inertie $I$ .....	12
1.7.2 Rotatie-impuls $L$ .....	13
1.7.3 Hefboomeffect .....	14
1.7.4 Torsie $T$ .....	15
<b>2 Energie en energieoverdracht</b> .....	<b>16</b>
2.1 Kinetische, potentiële en rotatie energie.....	16
2.2 Arbeid $W$ .....	17
2.3 Energieoverdracht.....	18
2.4 Rotatie energie .....	19
<b>3 Besluit</b> .....	<b>21</b>
<b>4 Bijlagen</b> .....	<b>22</b>
<b>5 Voetnoten</b> .....	<b>25</b>
<b>6 Bronnen</b> .....	<b>26</b>

## Inleiding

De basis van karate is een explosieve aanval op een tegenstander met een krachtstoot of energieoverdracht die ontstaat door heel precies uitgevoerde lichaamsbewegingen. De karatebewegingen zijn in de loop der tijd door studie en oefening ontwikkeld en geperfectioneerd.

Een klein aantal formules en wetten uit de fysica volstaan om de correcte uitvoering van karatebewegingen toe te lichten. We kunnen dus niet alleen leren 'hoe' we de bewegingen moeten uitvoeren door nabootsen, maar ook 'waarom' we ze zo moeten uitvoeren. Deze kennis zal de karateka helpen bij het verbeteren van zijn karatebewegingen door met inzicht in de onderliggende fysica de bewegingen nauwkeuriger, en dus met grotere impact, uit te voeren. Verder zal door het juist uitvoeren van de bewegingen, meer efficiënt (minder gespannen spieren, minder onnodige bewegingen, snellere reactie,...) en dus met minder energieverlies gewerkt kunnen worden.

Wat maakt dat een stoot 'hard' aankomt bij de tegenstander of als 'krachtig, explosief (powerful)' wordt ervaren? Op twee manieren, *allebei even juist*, kan deze vraag beantwoord worden. De eerste manier kijkt naar de slag als een krachtstoot tussen aanvallende en verdedigende (deel 1). De tweede manier op basis van de ontwikkelde energie en de energieoverdracht bij impact (deel 2).

De verschillende fysische grootheden (o.a. snelheid, kracht, druk,...) in deze paper worden telkens kort toegelicht, gevolgd door de wiskundige formulering in een kader links en een overzicht van de bijbehorende eenheden (bijv. m/s, N, Pa,...) in een kader rechts van de formule.



Uit de formule worden een aantal besluiten afgeleid die verder worden getoetst via een rekenvoorbeeld en/of een korte uitleg hoe deze besluiten terug te vinden zijn in karate.

Deze korte uitleg wordt voorafgegaan door de karateka figuur hier links afgebeeld.

We zullen een aantal karatetechnieken als voorbeeld stellen om deze fysische principes toe te lichten, maar het spreekt voor zich dat ze ook in andere bewegingen van nut zijn. Het is aan de karateka om met deze principes in het achterhoofd na te denken over de toepassing ervan in andere bewegingen.

Verder kan men op internet ook heel wat informatie vinden die de bewegingen volledig in detail uitleggen (zie bronnen). De bronnen werden niet vermeld in de tekst zelf om het lezen ervan niet te hinderen.

Om wetenschappelijk volledig te zijn, zonder de tekst zelf te moeilijker leesbaar te maken, werden een aantal voetnoten en bijlagen achteraan de paper opgenomen. In de bijlagen tref je ook alle wiskundige omzettingen van formule(s) en berekeningen.

# 1 De krachtstoot

## 1.1 Impuls $p$ en krachtstoot $I$

We beginnen bij een minder vertrouwd begrip uit het pakket 'karate'-fysica, nl de **impuls ( $p$ )** van een beweging of 'de hoeveelheid van beweging'.

De impuls van een voorwerp is afhankelijk van de bewegende massa ( $m$ ) en de snelheid ( $v$ ) waarmee de massa beweegt. Bijvoorbeeld: een vuist (de massa) raakt de tegenstander met een bepaalde snelheid en dus met de bijbehorende impuls.

$$p = m \cdot v \quad [1]$$

$p$  = impuls (kg.m/s)  
 $m$  = massa (kg)  
 $v$  = snelheid (m/s)

Besluit:

- hoe groter de massa, hoe groter de impuls
- hoe groter de snelheid, hoe groter de impuls

Bij impact van de vuist 'voelt' de verdediger niet de impuls zelf, maar **de verandering van impuls ( $\Delta p$ ) of de krachtstoot ( $I$ )**. Nét voor de vuiststoot heeft de vuist een grote hoeveelheid van beweging die bij impact verandert naar (bijna) geen<sup>(1)</sup> hoeveelheid van beweging meer. Hierbij blijft de massa dezelfde, maar de snelheid daalt plotseling. Hoe groter de snelheid van de vuist net voor de impact, hoe groter de snelheidsverandering  $\Delta v$  bij impact.

$$I = \Delta p = m \cdot \Delta v \quad [2]$$

$I$  = stoot (kg.m/s)  
 $\Delta p$  = impulsverandering (kg.m/s)  
 $\Delta v$  = snelheidsverandering (m/s)

Besluit:

- hoe groter de massa  $m$  bij impact, hoe groter  $I$
- hoe groter de snelheid van de vuist bij impact, hoe groter de snelheidsverandering  $\Delta v$ , hoe groter  $I$

De impulsverandering of krachtstoot wordt doorgegeven van de aanvaller aan de verdediger. Denk, bijvoorbeeld, aan 2 knikkers die botsen waarbij de aangespeelde knikker een hoeveelheid krachtstoot krijgt van de aanrollende knikker en daardoor ook in beweging komt.

De 'grootte' van de krachtstoot bepaalt o.a. hoe 'hard' een slag aanvoelt voor de verdediger.



Een karateka kan door het opspannen van de grote lichaamsspieren (o.a. de spieren van de buik, de rug, de schouders en de benen) een verbinding maken tussen verschillende lichaamsdelen waardoor één grote massa ontstaat die deelneemt aan de aanval; zo kunnen de benen verbonden worden met de heupen, de heupen met de rest van de torso en de schouders met de armen. Deze ‘opgespannen’ staat van het lichaam maakt het echter minder soepel zodat het moeilijker wordt snelheid op te bouwen (grote massa, maar kleinere snelheid). Anderzijds, zal een arm alleen -dus zonder het opspannen van het lichaam - een grotere snelheid kunnen bereiken, maar is de massa die in de strijd gegooid wordt relatief klein (kleine massa, grote snelheid). We kunnen deze tegenstrijdigheid omzeilen door nét voor de impact het lichaam pas helemaal op te spannen of ‘vast te zetten’.

De ‘deelnemende’ massa kan net voor impact nog groter gemaakt worden door opnieuw de heupen in te zetten:

- bij gyaku tsuki (teggestelde stoot of de vuiststoot wordt uitgevoerd aan de kant van het achterste been) draaien de heupen diep met de aanval mee (normale rotatie) door het achterste been te strekken en in de grond te duwen waardoor de massa van de grond mee ingebracht wordt.
- bij het uitvoeren van een oi tsuki (voorwaartse vuiststoot of vuiststoot wordt uitgevoerd aan de kant van het voorste been) draaien de heupen net voor de impact in de tegengestelde richting van de stootarm (teggestelde rotatie) om aldus de massa van de grond mee in de beweging te duwen. Dit voelt minder natuurlijk aan dan bij het gebruik van de heupen bij gyaku tsuki.

Het is dus niet de totale massa van de karateka op zich die telt, maar wel hoeveel van deze massa via lichaamscontrole en beheersing van de juiste techniek bij de slag wordt betrokken.

#### Rekenvoorbeeld:

Oi tsuki		m (kg)	v (m/s)	p (kg.m/s)
vanuit schouder	arm <sup>(2)</sup>	5	6	30
vanuit bekken	torso + arm	30	5	150

Door niet alleen het gewicht van de arm te gebruiken maar ook het gewicht in te zetten van het bovenlichaam en de heupen levert dit bij de vuiststoot tot 5 maal meer impuls op!

Voor wie verder wil lezen op internet is het belangrijk om te weten dat we in het Engels spreken van ‘*momentum*’ wanneer de impuls of bewegingshoeveelheid wordt bedoeld. Om het moeilijk te maken wordt de krachtstoot echter in het Engels ‘*Impulse*’ genoemd. Een overzicht van alle grootheden en eenheden die in deze paper voorkomen vind je in het Engels en het Nederlands in bijlage 7.

## 1.2 Snelheid v

De snelheid van de vuist bij impact is dus één van de bepalende factoren van de grootte van de krachtstoot (zie [2]) die doorgegeven wordt tussen aanvaller en verdediger.

Bij een vuiststoot is de vuist bij de start in rust op de heup (hikite); de beginsnelheid ( $v_0$ ) van de vuist is dus 0 m/s. Wanneer de vuist haar doel bereikt, heeft ze een eindsnelheid ( $v$ ). De mate waarin de **snelheid ( $v$ )** in het tijdsverloop ( $\Delta t$ ) tussen start van de vuiststoot en de impact ervan verandert, is afhankelijk van de versnelling ( $a$ ).

$$v = v_0 + a \cdot \Delta t$$

[3]

$v$  en  $v_0$  = eind- en beginsnelheid (m/s)

$a$  = versnelling ( $m/s^2$ )

$\Delta t$  = tijdsinterval =  $t - t_0$  (s)

Besluit:

- hoe groter de versnelling  $a$ , hoe groter  $v$  of  $\Delta v$  (uit [3] volgt:  $v - v_0 = a \cdot \Delta t$ )
- hoe groter het tijdsinterval waarin de vuist snelheid kan ontwikkelen, hoe groter de snelheid



Gegevens opgemeten in proefopstellingen tonen aan dat de vuist een maximumsnelheid bereikt op ongeveer 70 à 75 % van de armlengte bij een oi tsuki. Dit wil zeggen dat als een karateka een doel op volle snelheid wil raken dat hij dus iets dichter dan een armlengte van het doel moet staan en het eindpunt of de focus van zijn vuiststoot voorbij het raakpunt 'visualiseert'.

Snelheidsstudies van verschillende stoot- en schoptechnieken (punch versus kicks) tonen aan dat schoppen 3 tot 6 maal meer krachtiger zijn dan stoten. Niet alleen door het grotere gewicht van een been (gemiddeld 14 kg) t.o.v. een vuist (gemiddeld 7 kg), maar vooral ook door de grotere snelheden die het been bereikt (gemiddeld 7 m/s voor de vuist versus 12 m/s voor de voet).

## 1.3 Optellen van snelheden

Om het idee van het optellen van snelheden begrijpelijk te maken is het interessant om even een voorbeeld uit te werken. Stel dat je in een trein staat die aan een snelheid van 50 km/h rijdt. Zelf stap je met een snelheid van 5 km/h naar voren toe en terwijl je wandelt sla je een vuistslag met een snelheid van 40 km/h. Hoe snel beweegt je hand nu gezien vanuit het standpunt van iemand die stilstaat naast de trein? Aangezien alle snelheden in dezelfde richting gaan, mag je de snelheden optellen en kom je op  $(50+40+5)$  km/h = 90 km/h. Elke snelheid afzonderlijk draagt bij aan de finale snelheid van de vuist bij impact.



Een snelle en beslissende techniek benut dus niet alleen de snelheid van de vuist door het strekken van de arm, maar ook de snelheid van het krachtig naar voren stoten van de heupen bij het instappen én de snelheid van een korte, scherpe draaibeweging met de heupen bij de start van de beweging (vergelijkbaar met het afwinden van een veer).

Zo start een oi tsuki met het licht buigen van het achterste been (fudo dashi) en het draaien van de heupen samen met het bovenlichaam door het aanspannen van de buikspieren naar achter toe zodat de heup van het voorste been het verst naar voren toe staat (hamni); dit is het opspannen van 'de veer'. Het voorste been met de knie tot boven de tenen gebogen, drukt in tegengestelde richting van het achterste been zodat het lichaam stabiel staat. De beweging wordt in gang gezet met het achterste been stevig tegen de grond te drukken door het te strekken, tegelijkertijd met het 'trekken' op het voorste been door ook dit stevig in de grond te duwen waardoor de spieren van het voorste been de voorwaartse beweging helpen. Daarbij draaien tevens de heupen snel naar voren toe tot ze op één lijn naar voren staan (het afwinden van de veer). Door het opspannen van buik- en rugspieren rond de ruggengraat worden de draaisnelheid van de heupen ( $v_1$ ) en de voorwaartse verplaatsingssnelheid van de heupen ( $v_2$ ) de torso doorgegeven aan de schouders ( $v_3$ ) en dragen aldus bij tot de finale snelheid van de vuist ( $v_1+v_2+v_3$ ).

## 1.4 Kracht F en de 3 Wetten van Newton

### 1.4.1 De eerste wet van Newton: de wet van de traagheid

De eerste wet van Newton<sup>(3)</sup> stelt dat een voorwerp een snelheidsverandering ondergaat enkel en alleen indien er een kracht<sup>(4)</sup> wordt op uitgeoefend.

Dit wil zeggen dat de vuist in rust blijft tot spierkracht gebruikt wordt om de vuist in beweging te brengen of om ze te versnellen indien ze al in beweging was.

### 1.4.2 De tweede wet van Newton: kracht verandert de beweging

De *Tweede wet van Newton* geeft aan wat een kracht 'is' of beter gezegd 'doet'. Een **kracht (F)** uitgeoefend op een massa ( $m$ ) veroorzaakt een versnelling ( $a$ ) van deze massa. Een kracht kan een voorwerp versnellen, vertragen (= negatieve  $a$ ) of van richting<sup>(5)</sup> laten veranderen.

Bij het uitoefenen van een constante kracht en dus ook van een constante versnelling, zal de vuist een eenparig versnelde beweging maken.

$$F = m \cdot a$$

[4]

F = kracht (N = kg.m/s<sup>2</sup>)

m = massa (kg)

a = versnelling (m/s<sup>2</sup>)

Besluit:

- hoe groter de kracht F, hoe groter de versnelling a, hoe groter de snelheid v (zie [3]).
- hoe groter de massa m, hoe groter F

maar ook:

- hoe groter de massa  $m$ , hoe kleiner  $a$  (uit [4] volgt:  $a=F/m$ )



Punten 2 en 3 spreken elkaar tegen, want we willen zowel een grote kracht  $F$  bij impact als een grote versnelling  $a$ . De spierkracht  $F$  wordt echter in het eerste deel van een vuiststoot gebruikt om de arm/vuist te versnellen via het indraaien van de heupen en de voorwaartse beweging (zie 1.3). Op het ogenblik van de impact wordt door het opspannen van de spieren van het lichaam én door de normale of tegengestelde rotatie van de heupen, respectievelijk bij *gyaku tsuki* of *oi tsuki*, (zie 1.1.)), een extra 'massa input' bewerkstelligt door deze specifieke uitvoering. Hierdoor vergroot de kracht waarmee de impact plaats heeft. We kunnen dus stellen dat de 'versnellings'-kracht naar het einde van de beweging toe verandert in 'stoot'-kracht.

#### Rekenvoorbeeld:

In een proefopstelling werd de ontwikkelde kracht zonder en mét heup indraaien bij de start van de beweging getest: zonder heup indraaien werd een kracht van ongeveer 479 N geregistreerd, met heup indraai steeg de uitgeoefende kracht tot ca. 771 N oftewel een stijging van meer dan 60%.

#### 1.4.3 De derde wet van Newton: actie = - reactie

De *Derde wet van Newton* bepaalt dat als een voorwerp A een kracht  $F_{\text{actie}}$  op een voorwerp B uitoefent, gaat deze kracht gepaard met een even grote, maar tegengestelde gerichte, kracht  $F_{\text{reactie}}$  van B op A.



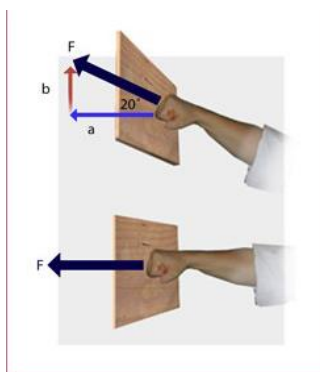
Wanneer we krachtig met de voeten tegen de grond duwen met de bedoeling vooruit te gaan, dan zal de grond 'terugduwen' en zo ons lichaam voorwaarts duwen.

Zo 'voelen' we ook de tegengestelde reactiekracht, bijvoorbeeld, onder de vorm van de terugslag van een vuistslag op een verdediger. Een goede uitgebalanceerde stand zal ervoor zorgen dat deze reactiekracht de stoottechniek niet kan verzwakken. Wanneer de reactiekracht een karateka achteruit gooit dan zal de vuiststoot een deel van zijn energie verliezen en zal dus de stoot minder krachtig zijn. We kunnen dit als volgt zien: elke stoot heeft een bepaalde (weliswaar zeer korte) overdracht- of transfertijd nodig om de kracht door te geven aan het doel. Wanneer de stand van de benen niet stabiel genoeg is, zal het lichaam van de aanvaller door de reactiekracht weggeduwd worden en zal de kracht waarmee het doel geraakt wordt in de korte transferperiode niet constant zijn, maar juist dalen tijdens de transfertijd.

Dit wil ook zeggen dat een snelle vuiststoot niet gelijk staat met een 'vlugge tik', maar dat de stoot even moet aangehouden worden om de transfer van kracht tussen aanvaller en verdediger te kunnen laten doorgaan.



#### 1.4.4 Kracht is een vector



Figuur 1: vectorvoorstelling van een kracht (uit Bad Martial Arts)

Een kracht is een vector met niet alleen een grootte, maar ook een richting. Dit gegeven is belangrijk wanneer we de volle lading kracht op een tegenstander willen overbrengen. Beschouwen we figuur 1 waarin onderaan de vuiststoot loodrecht wordt gegeven op het doel; de volledige kracht  $F$  wordt hierbij doorgegeven. In de bovenste tekening helt de vuist een beetje naar boven toe (hoek =  $20^\circ$ ) waardoor slechts het 'deel  $a$ ' van de kracht loodrecht op het doel terecht komt. Indien  $F = 1000\text{N}$ , dan zal het deel  $a$  van deze kracht slechts  $940\text{N}$  zijn of een verlies van 6%. De berekeningswijze vind je in bijlage 1.



De kracht moet zich dus in een rechte lijn voortplanten en mag niet van richting veranderen. Op welke aspecten van de uitvoering moeten we letten om deze rechte voortplantingslijn te behouden?

Een vuiststoot kan niet effectief zijn als hij niet de juiste weg beschrijft. In het geval van een rechte stoot (oi tsuki) is de juiste weg een rechte lijn tussen de vuist op de heup en het doel (de korst mogelijke afstand). Daarbij moet de elleboog van de stootarm licht langs de zijkant van het lichaam strijken en de onderarm (en vuist) naar binnen draaien. De pols moet stijf en ongebogen (recht) worden gehouden, de rug van de hand en de pols dienen een rechte lijn te vormen. De knokkels van de wijs- en middelvinger wijzen naar voren.

Een even belangrijk punt is de positie van de knie en haar stabiliteit tijdens de uitvoering van een beweging om te zorgen voor een verplaatsing in een rechte lijn. De juiste positie van de knie start bij de juiste stand van de voeten. De buitenkant van de voet moet recht zijn, d.w.z. dat de grote teen een beetje naar binnen toe staat. De achterste voet wijst zo veel mogelijk naar voren toe, maar de voetzool moet volledig de grond blijven raken (afhankelijk van de flexibiliteit van de enkels). De voorste knie moet zich nu volledig boven de grote teen bevinden waardoor de knie recht naar voren toe wijst. Aangezien de knie een scharniergewricht is, kan ze maar op 1 manier buigen, nl. naar voren toe. Wanneer de knie nu stabiel op de juiste positie gehouden wordt tijdens de beweging, zal de beweging recht vooruit zijn.

### 1.5 Terug naar impuls en krachtstoot

De krachtstoot  $I$  kan ook geschreven worden in functie van de uitgeoefende kracht  $F$  en de tijdsperiode  $\Delta t$  waarin deze kracht de vuist versnelt.

De wiskundige omzetting van de formules [3] en [4] tot [5] vind je in bijlage 2.

$$I = \Delta p = m \cdot \Delta v = F \cdot \Delta t$$

[5]

Van bij de start van een vuiststoot wordt door de karateka een bepaalde kracht  $F$  geleverd. Bij de start heeft de vuiststoot echter nog geen bewegingshoeveelheid  $p$  opgebouwd ( $p_0 = 0$  want  $v_0 = 0$  indien we vanuit rust starten). Pas nadat een vuist gedurende een tijdsinterval ( $\Delta t$ ) beweegt zal een bepaalde bewegingshoeveelheid opgebouwd worden. Hoe langer de vuist beweegt, hoe groter de snelheidsverandering  $\Delta v$  (zie [3]), hoe groter de krachtstoot  $I$  bij impact. Zoals we reeds eerder vermeld hebben, bereikt de vuist in de praktijk echter een maximale snelheid op een afstand van 75% van de armlengte (zie 1.2. ).



Dit is ook de reden waarom het stoppen van een schop of vuiststoot gemakkelijker is bij de start ervan. De krachtstoot is op dat ogenblik nog niet zo groot aangezien de snelheid zich nog niet heeft kunnen opbouwen.

Uit de formule [5] kunnen ook een tweede formule voor de kracht  $F$  afleiden:

$$F = m \cdot (\Delta v / \Delta t) \quad [6]$$

Hier spreken we over de kracht waarmee de vuist het doel raakt.

Besluit:

- hoe groter de massa, hoe groter de kracht
- hoe kleiner de impacttijd  $\Delta t$ , hoe groter de kracht
- hoe groter de snelheidsverandering  $\Delta v$ , hoe groter de kracht

De impacttijd moet echter meer zijn dan een 'tik' aangezien de overdracht van de kracht een korte tijd vraagt (zie 1.4.3.).

Uit ervaring weten we dat het stoten met de vuist tegen een muur aanzienlijk meer pijn doet dan het slaan op een kussen. Het is het verschil in snelheidsverandering tussen beiden die het pijnverschil verklaart. Bij een muur daalt de snelheid van de vuist zeer plotseling tot 0 m/s. Gevolg is een zeer grote snelheidsverandering op korte tijd met een grote kracht tot gevolg (zie [6]). Wanneer we echter op een kussen slaan, zal de materie van het kussen nog een tijdje mee indeuken zodat de snelheidsverandering over een langere tijd gespreid wordt met als gevolg dat een kleinere kracht/minder pijn gevoeld wordt.

## 1.6 Druk P

Met het begrip **druk of drukkracht (P)** doelen we op de kracht uitgeoefend op een bepaalde oppervlakte ( $A$ ). Let op dat we hier hoofdletter P en A gebruiken (i.p.v. p en a die symbolen zijn voor 2 andere grootheden zoals we hiervoor reeds hebben gezien).

Het is deze druk die bij impact gevoeld wordt door de tegenstander. Voor wie leest op het internet merk op dat in het Engels vaak over power (kracht F) gesproken worden wanneer eigenlijk over de druk gesproken wordt.

$$P = F/A \quad [7]$$

$$P = \text{druk (Pa = N/m}^2\text{)}$$

$$F = \text{kracht (N)}$$

$$A = \text{oppervlakte (m}^2\text{)}$$

Besluit:

- hoe kleiner de oppervlakte waarmee we het voorwerp raken, hoe groter de druk
- hoe groter de impactkracht, hoe groter de druk



Een karateka kan bijvoorbeeld een deel van zijn vuist (1 of 2 knokkels, zijkant hand) gebruiken bij een slag of stoot. Voor andere voorbeelden van interessante raakvlakken verwijzen we naar figuur 2.

Let hierbij wel op dat de raakvlakken voldoende sterk zijn om de grotere druk aan te kunnen! Twee vingers zijn bijvoorbeeld minder sterk dan een speerhand. Maar het gebruik van twee vingers kan bijvoorbeeld wel bij het aanraken van gevoelige drukpunten.

Het slagoppervlak moet niet alleen klein zijn, maar ook hard. Een stevige, juist gevormde vuist zorgt voor een kortere impacttijd dan een losse vuist. Bij een losse vuist vergroot de impacttijd  $\Delta t$  omdat tijd verloren gaat doordat de vuist eerst nog wordt samengeperst bij impact. Uit [6] volgt dat de kracht F van de slag hierdoor vermindert en bijgevolg ook de uitgeoefende druk P.

Een zelfde principe is van toepassing bij het afweren van stoten en schoppen. De beste afweer krijg je door met de pols tegen de pols (of pols tegen enkel) van de tegenstander te raken. Merk op dat hierdoor ook de mogelijkheid om de arm of been van tegenstander te grijpen en hem uit balans te trekken bestaat.



Figuur 2: Interessante raakvlakken (How Does Karate Work)

Rekenvoorbeeld 1:

Stel dat je een kracht van 3750 N kan ontwikkelen bij een schoptechniek. Je hebt, bijvoorbeeld, de keuze tussen het gebruik van de wreef van de voet of de bal van de voet.

schoptechniek (bijv. mawashi geri)	raakoppervlak A (m <sup>2</sup> )	druk P (Pa) bij F = 3750 N
wreef van de voet (15 cm x 10 cm)	0,015	250 000
bal van de voet (5 cm x 10 cm)	0,005	750 000

Het gebruik van de bal van de voet i.p.v. de wreef geeft een druk die 3 maal groter is.

Rekenvoorbeeld 2:

Stel dat je een kracht van ca. 450 N ontwikkelt bij het slaan met de hand (de kracht van een stoottechniek is kleiner dan bij een schoptechniek). Je kan daarbij de vlakke hand gebruiken, de zijkant van de hand (bijv. bij Shuto uke), of de 2 knokkels (seiken).

stoottechniek	raakoppervlak A (m <sup>2</sup> )	druk P (Pa) bij F = 450N
vlakke hand (15 cm x 10 cm)	0.0150	30 000
zijkant hand (15 cm x 3 cm)	0.0045	100 000
knokkels (2,5 cm x 2,5 cm)	0.0006	700 000

Het verkleinen van het raakoppervlak heeft dus een grote impact op de uitgeoefende druk en dus op het pijngevoel van de tegenstander: Vlakke hand versus zijkant hand is maal een factor 3, vlakke hand versus knokkels is maal een factor 25, zijkant hand t.o.v. knokkels is maal een factor 7.

## 1.7 Draaibewegingen

In 1.3. 'het optellen van snelheden' werd aangetoond dat de snelheid van het indraaien van de heupen bijdraagt aan de finale snelheid van de vuiststoot en dus aan de krachtstoot. Een draaibeweging levert eveneens bij tal van andere karate bewegingen een bijdragen aan de explosiviteit ervan.

### 1.7.1 Inertie I

Zoals bij een voorwaartse beweging (ook laterale beweging genoemd) de massa niet beweegt of versnelt tenzij er een kracht op werkt (Eerste Wet van Newton), zo zal een massa zich ook 'verzetten' of weerstand bieden tegen een verandering van haar draaisnelheid. De mate van dit verzet is de **inertie (of het traagheidsmoment) I** van de massa (merk op dat hetzelfde symbool I ook voor de grootheid krachtstoot uit 1.1. gebruikt wordt).

De inertie is afhankelijk van de afstand  $r$  tussen de draai-as en de massa  $m$ . De draai-as bij een karateka bevindt zich in het zwaartepunt, t.z. in het midden van het lichaam net onder de navel (zie figuur 3).

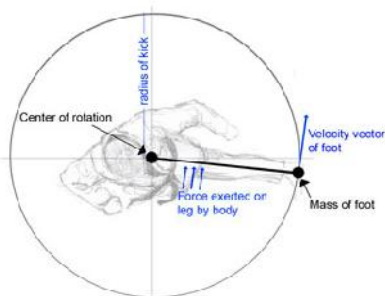
$$I = m \cdot r^2 \quad [8]$$

$I$  = inertie (  $\text{kg} \cdot \text{m}^2$  )  
 $r$  = afstand tussen massa en draai-as = straal van de draaibeweging (m)

Besluit:

- hoe groter  $r$ , hoe groter de inertie, hoe meer 'verzet' van het lichaam tegen draaien. We kunnen de Inertie  $I$  ook vergelijken met een 'verzwaarde' massa (zie [8]).

Rekenvoorbeeld:



Figuur 3: draai- as (middelpunt cirkel) en  $r$  (tussen 2 zwarte punten = lengte been)

Stel dat de armen van een karateka elk 5 kg wegen. Wanneer hij met de benen gespreid en het onderlichaam stil, zou ronddraaien met het bovenlichaam en met de armen volledige uitgestrekt dan bevindt de massa van de armen zich gemiddeld op 40 cm van het draaipunt (volledig uitgestrekt arm tot borstbeen ca. 80 cm, maar massa arm gelijk verdeeld over deze lengte). Daarna worden de armen gebogen en met de handen op de schouders rondgedraaid. Massa bevindt zich op ongeveer 20 cm van draaipunt.

draaien met bovenlichaam met...	massa (kg)	$r$ (m)	$r^2$ ( $\text{m}^2$ )	$I$ ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ )
armen gesterkt	$2 \times 5 = 10$	0.4	0.16	1,6
armen met handen op schouders	$2 \times 5 = 10$	0.2	0.04	0.4

De 'verzwaarde' massa wordt in dit voorbeeld tot 4 maal lichter door het verkleinen van de straal van de cirkelbeweging.

### 1.7.2 Rotatie-impuls $L$

De **rotatie-impuls  $L$**  <sup>(6)</sup> is een maat voor de "hoeveelheid draaibeweging" van een voorwerp (vergelijkbaar met de impuls  $p$  van een voorwaartse beweging). De rotatie-impuls  $L$  van een voorwerp wordt bepaald door zijn inertie  $I$  en zijn hoeksnelheid  $\omega$ .

De **hoeksnelheid  $\omega$**  geeft aan hoe snel een cirkelvormige beweging doorlopen wordt door een massa of hoelang een massa er over doet om aan een bepaald hoeksnelheid een cirkel rond te draaien. Ze is afhankelijk van de (tangentiële) snelheid  $v$  <sup>(7)</sup> van een voorwerp op een afstand  $r$  van de draai-as .

$$\omega = v/r$$

[9]

$$L = I \cdot \omega$$

[10]

 $v = \text{tangentiële snelheid (m/s)}$ 
 $\omega = \text{hoeksnelheid = rad/s}$ 
 $L = \text{rotatie-impuls = N.m.s}$ 

Besluit:

- hoe groter  $I$ , hoe groter  $L$ .
- hoe groter  $\omega$ , hoe groter  $L$
- hoe kleinere  $r$ , hoe groter  $\omega$ , maar ook hoe kleiner  $I$  (zie [8])

Een lichaam heeft een rotatie-impuls  $L_a$  op afstand  $a$  van de draai-as en  $L_b$  op afstand  $b$  van de draai-as. De **Wet van behoud van de rotatie-impuls** zegt dat de rotatie-impuls dezelfde is in elk deel van de massa die in rotatie is. Dat wil ook zeggen dat indien we tijdens een draaibeweging de afstand van de massa tot de draai-as van het punt  $a$  verkleinen naar het punt  $b$  dat dan de rotatie-impuls op beide punten dezelfde is ( $L_a = L_b$ ).

Aangezien de inertie verkleint door de massa van punt  $a$  naar punt  $b$  te verschuiven zal de draaisnelheid op punt  $b$  evenredig groter worden dan in punt  $a$ .

Stel dat de inertie in  $b$  de helft is van deze op punt  $a$  ( $I_b = \frac{1}{2} I_a$ ) dan zal de hoeksnelheid in  $b$  2 maal zo groot zijn als in  $a$  ( $\omega_b = 2 \times \omega_a$ ). De volledige wiskundige berekening vind je in bijlage 3.



Door het verkleinen van de inertie kan een grotere snelheid bereikt worden bij het uitvoeren van een draaibeweging. Denk aan het bekende beeld van een schaatser die armen en benen dicht langs zijn draai-as legt en daardoor sneller gaat ronddraaien.

Een karateka kan deze kennis ook gebruiken bij het uitvoeren van draaibewegingen. Zo kan hij, bijvoorbeeld, bij het geven van een mawashi geri de knie van het zwaaibeen hoog optrekken en goed toe plooiën zodoende het been (de massa) zo dichtbij mogelijk bij zijn lichaam (de draai-as) te houden tijdens de draaibeweging en dus de snelheid van deze draaibeweging vergroten.

Vaak wordt een aanval in verschillende richtingen uitgevoerd en moet de karateka zich daarbij vlug  $180^\circ$  draaien (bijv. bij mawate). Om hierbij maximum snelheid te bereiken, moet de stootarm zo dicht mogelijk bij het lichaam blijven tijdens het draaien. Pas op het laatste ogenblik zal door het strekken van de elleboog deze loskomen van het lichaam (bijv. halve draai in kiba dachi gevolgd door een zijwaartse uraken uchi). De andere arm is door zijn positie op de heup (hikite) eveneens dicht bij lichaam. Door het feit dat de armen dicht bij het lichaam blijven tijdens het draaien, is de afstand tot de draai-as minimaal en dus is de inertie klein en de draaisnelheid groot.

### 1.7.3 Hefboomeffect

Voor snelle draaibewegingen opteert de karateka ervoor om zijn inertie te verkleinen. Soms is echter juist een grote inertie in het voordeel van een karate beweging. Via een systeem van hefboomen kunnen rotatie-impulsen doorgegeven worden tussen lichaamsonderdelen (bijv. vanuit de

benen/heupen/torso via schouder/bovenarm naar elleboog/onderarm/vuist) en kan de inertie van de torso ingebracht worden om de explosiviteit van een vuiststoot te vergroten. Uit de wet van behoud van rotatie impuls volgt:

$$L_{\text{torso}} = L_{\text{bovenarm}} \quad (\text{zie [10]}) \quad \text{oftewel} \quad I_{\text{torso}} \cdot \omega_{\text{torso}} = I_{\text{bovenarm}} \cdot \omega_{\text{bovenarm}}$$

$$L_{\text{bovenarm}} = L_{\text{onderarm}} \quad \text{oftewel} \quad I_{\text{arm}} \cdot \omega_{\text{arm}} = I_{\text{onderarm}} \cdot \omega_{\text{onderarm}}$$

Mits wat herschikken van de elementen uit deze formules (zie bijlage 4) bekomen we:

$$\omega_{\text{onderarm}} = (I_{\text{torso}}/I_{\text{onderarm}}) \cdot \omega_{\text{torso}}$$



Aangezien de inertie van de torso groter is dan de inertie van de arm ( $m_{\text{torso}} > m_{\text{arm}}$ ) is de verhouding ( $I_{\text{torso}}/I_{\text{onderarm}}$ ) groter dan 1. Dus de draaisnelheid van de onderarm is veel groter dan de draaisnelheid van de torso en dus kan de grote inertie van het bovenlichaam gebruikt worden om de draaisnelheid van de vuist te vergroten en op die manier de 'snap' beweging te versnellen. Hetzelfde hefboomeffect is ook van toepassing op beenbewegingen. Hierbij kan de draaibeweging van het bovenlichaam eventueel ook een tegengestelde rotatie maken; hierbij draaien de heupen in een richting tegengesteld aan die van de uitgevoerde arm of beenbeweging (bijv. bij een zijwaartse uraken-uchi).

#### 1.7.4 Torsie T

Torsie T of 'draai'kracht grijpt in op een massa (heupen, vuist, voet,...) en draait de massa rond een draai-as. In karate wordt torsie opgebouwd door de kracht van de stand van de benen en de heupen.

Torsie kan doorgegeven worden van het ene lichaamsdeel aan het volgende en aldus het volgende lichaamsdeel in rotatie brengen. Door toepassing van deze draaikracht kan de rotatie-impuls van een lichaamsdeel vergroot (versnellen) of verkleind (vertragen) worden. De torsie geeft dus de mate van verandering in rotatie-impuls gedurende de bewegingsverandering.



Om de torsie te maximaliseren bij de start van een draaibeweging is het nodig om met beide voeten voldoende ver uit elkaar (zowel zijwaarts als in de lengterichting) en stevig in contact met de grond te plaatsen. De achterwaartse beweging van de terugtrekkende hand tot hikite leidt de draaiing van de heupen in en door opspannen van buik- en rugspieren tevens het draaien van bovenlichaam samen met de heupen terwijl de benen stabiel blijven. Dit is te vergelijken met het opspannen van een veer. Inertie is hierbij zo groot mogelijk zodat de rotatie-impuls maximaal is (zie 1.7.3). Zodra voldoende rotatie-impuls is opgebouwd, wordt de inertie zo klein mogelijk gemaakt door het 'intrekken' van armen en/of benen om zo de draaisnelheid te maximaliseren (zie 1.7.2 en 2.4.) rondom de draai-as en de impact van de slag zo groot mogelijk te maken. De draai-as is het steunbeen met daarboven het zwaartepunt van bovenlichaam en hoofd zo goed mogelijk op 1 lijn. Hierbij moet het bekken naar voren gekanteld worden en het hoofd met kin ingetrokken zijn.

## 2 Energie en energieoverdracht

De tweede manier om naar een schop of stoot te kijken is op basis van energieproductie en de energieoverdracht tussen aanvaller en verdediger.

### 2.1 Kinetische, potentiële en rotatie energie

Energie wordt opgesplitst in 3 soorten: kinetische energie ( $E_K$ ), potentiële energie ( $E_P$ ) en rotatie energie ( $E_R$ ).

De **kinetische energie**  $E_K$  is de energie die ontstaat door een voorwaartse (of achterwaartse) beweging, ook laterale beweging genoemd. Denk, bijvoorbeeld, aan een oi tsuki met instap. De ontwikkelde kinetische energie hangt af van de massa ( $m$ ) en snelheid ( $v$ ) van het voorwerp.

De **potentiële energie**  $E_P$  ontstaat wanneer een voorwerp in hoogte daalt. Dit is het gevolg van de aantrekkingskracht van de aarde en de bijbehorende valversnelling  $g$  (t.t.z de valversnelling = specifieke versnelling  $a$  met een constante waarde =  $9,81 \text{ m/s}^2$ ). Merk op dat omgekeerd energie moet geleverd worden om een voorwerp van een lager naar een hoger niveau te brengen. De potentiële energie is functie van de massa ( $m$ ) en het hoogteverschil ( $h$ ). Bij het instappen van een oi tsuki vanuit natuurlijke stand (shizen-tai) tot een diepe stand met knie boven de tenen daalt het lichaam met ongeveer 15 tot 20 cm

De **rotatie energie**  $E_R$  is het gevolg van een draaibeweging: o.a. het draaien van de vuist op het einde van een vuistslag, het indraaien van de heupen of het rondzwaaien van de voet bij een schop.

$$E = E_K + E_P + E_R = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + m \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2$$

[11]

$E$  = energie (J)

$m$  = massa (kg)

$v$  =snelheid (m/s)

$g$  = valversnelling =  $9,81 \text{ m/s}^2$

$h$  = hoogteverschil (m)

$I$  = inertie ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ )

$\omega$  = hoeksnelheid (rad/s)

Besluit:

- hoe groter de massa  $m$ , hoe groter de kinetische en potentiële energie
- hoe groter de snelheid  $v$ , hoe groter de kinetische energie
- hoe dieper de stand, hoe groter het niveauverschil  $h$  voor en na de beweging, hoe groter de geleverde potentiële energie
- hoe groter de inertie  $I$ , hoe groter de rotatie energie
- hoe groter de hoeksnelheid  $\omega$ , hoe groter de rotatie energie



Rekenvoorbeeld 1:

Een karateka met een massa van 70 kg heeft een armmassa (10%) van ongeveer 7 kg. Een oi tsuki heeft een snelheid van gemiddeld 7 m/s. Bij de voorwaartse stap daalt het zwaartepunt met ca. 20 cm. Met deze gegevens kunnen de kinetische en potentiële energie uitgerekend worden (zie bijlage 5). We bekomen volgende waarde:

$$E_k = 171,5 \text{ J}$$

$$E_p = 137,2 \text{ J}$$

$$E_{\text{totaal}} = E_k + E_p = 309,48 \text{ J}$$



De ontwikkelde kinetische energie en potentiële energie zijn ongeveer even groot. Bij het verplaatsen van een voorwerp van een lagere naar hogere positie moet echter potentiële energie geleverd worden, dus ook bij het rechtekomen vanuit de voorwaartse diepe stand tot natuurlijke stand. Uit het rekenvoorbeeld blijkt dat elke opgaande beweging van de heupen evenveel energie 'kost' als een vuiststoot met grote snelheid. Om dus zoveel mogelijk energieverstopping te vermijden tijdens de voorwaartse en achterwaartse bewegingen heeft een karateka er belang bij om de heupen tijdens de verplaatsingen op dezelfde hoogte te proberen houden.

Rekenvoorbeeld 2:

Dezelfde karateka uit rekenvoorbeeld 1 voert nu een schoptechniek i.p.v. een stoottechniek uit zonder instap (t.t.z geen heupdaling oftewel geen  $E_p$ ). We nemen een gewicht van 14 kg voor het been en een snelheid van 12 m/s voor de schop. Berekening zie bijlage 5.

$$\text{Schop zonder instap : } E_{\text{totaal}} = E_k = 1008 \text{ J}$$



Bij de schop is de ontwikkelde energie meer dan 3 maal groter dan bij een vuiststoot met instap (309 j versus 1008 j). In vergelijking met de vuiststoot zonder instap bekomen we zelfs een zesvoud aan energie (171 J versus 1008 J). Schoptechnieken zijn dus 3 tot 6 maal krachtiger dan stoottechnieken (zie ook 1.2.).

**2.2 Arbeid W**

Energie hier onder de vorm van geleverde **arbeid W** oftewel de geleverde kracht  $F$  om een voorwerp over een bepaalde afstand  $\Delta s$  te verplaatsen.

$$W = F \cdot \Delta s \quad \text{of} \quad F = W / \Delta s \quad [12]$$

$W$  = arbeid (J)

$F$  = kracht (N)

$\Delta s$  = afgelegde weg (m)

Besluit:

- hoe langer de afgelegde weg, hoe groter de ontwikkelde arbeid/energie
- hoe langer de afgelegde weg, hoe kleiner de beschikbare kracht voor een bepaalde hoeveelheid arbeid/energie.



Hoe langer de arm of het been van de karateka, hoe langer de afgelegde weg. Het belang van de afgelegde weg moet echter genuanceerd worden aangezien de snelheid van de vuist in de praktijk niet constant is maar haar maximum snelheid bereikt op ongeveer 70 % van de armlengte (zie 1.2) en dus om een optimale snelheid te behouden best niet de volledige armlengte wordt benut.

Gezien de grotere beschikbare kracht bij een kortere afgelegde weg kan het soms beter zijn om dichterbij de tegenstander de vuiststoot of schop uit te voeren.

### 2.3 Energieoverdracht

Volgens de Wet van Energiebehoud vindt er bij een botsing tussen 2 massa's **energieoverdracht**  $\Delta E$  plaats tussen beide massa's. Deze energieoverdracht is afhankelijk van de elasticiteit van de botsing en de massa's  $m_1$  en  $m_2$  van de voorwerpen bij de botsing betrokken, maar vooral opnieuw van de snelheid( $v$ ).

$$\Delta E = \frac{1}{2} \cdot (1 - e^2) \cdot \left[ \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \right] \cdot v^2 \quad [13]$$

$e$  = elasticiteitscoëfficiënt (geen eenheid)

$m_1, m_2$  = massa's (kg)

$v$  = snelheid (m/s)

Bij het botsen van harde voorwerpen met elkaar (een niet elastische botsing) benadert  $e = 0$  en wordt een relatief grote  $\Delta E$  op korte tijd overgedragen tussen beide harde voorwerpen. Denk, bijvoorbeeld, aan het stoten van een vuist tegen een muur; deze 'botsing' of energieoverdracht doet pijn.

Bij botsing van 2 zachte voorwerpen benadert  $e = 1$  en wordt een relatief kleine  $\Delta E$  over langere tijdsperiode doorgegeven en bijgevolg is deze botsing veel minder pijnlijk. Sla, bijvoorbeeld, met een hand op een kussen; de impacttijd is langer doordat het kussen nog een tijdje wordt ingedrukt.



Een slecht gevormde (losse) vuist heeft een grotere impacttijd nodig omdat de vuist tijdens de stoot eerst nog verder wordt ingedrukt (te vergelijken met het kussen); de vuiststoot zal bijgevolg minder hard aankomen (zie ook 1.5).

Naast de impacttijd is eveneens het raakoppervlak van tel bij de energieoverdracht: hoe kleiner het raakvlak, hoe groter de energieoverdracht per oppervlak en hoe harder de slag, stoot of schop.

#### Rekenvoorbeeld:

Vergelijken we de energieoverdracht per raakoppervlak bij een slag met het volle hand, met de zijkant van een hand en bij twee knokkels. De totale energieoverdracht is telkens 190 J.

$\Delta E = 190 \text{ J}$	raakoppervlak ( $\text{m}^2$ )	$\Delta E/\text{m}^2$ ( $\text{J}/\text{m}^2$ ) (afgeronde waarden)
hand (15 cm x 10 cm)	0.0150	ca. 13 000
zijkant hand (15 cm x 3 cm)	0.0045	ca. 40 000
knokkels (2,5 cm x 2,5 cm)	0.0006	ca. 300 000

Van vlakke hand naar zijkant hand stijgt de energieoverdracht per  $\text{m}^2$  tot 3 maal meer. Vergelijken we een slappe hand met de knokkels dan vergroot de energieoverdracht per  $\text{m}^2$  tot een factor 25. Zijkant hand versus knokkels geeft een vermenigvuldiging met ongeveer 7 à 8. We komen tot eenzelfde besluit als in 1.5.: het gebruik van een kleiner raakoppervlak vergroot de hardheid van de impact.

## 2.4 Rotatie energie

In 2.1. werd al kort melding gemaakt van de rotatie energie of de energie die ontwikkeld wordt bij een draai beweging. Net als bij een lineaire beweging is de Wet van behoud van (rotatie)-impuls van toepassing. Dat wil zeggen dat zodra voldoende rotatie-impuls  $L$  opgebouwd is door torsie (zie 1.7.4.) dat elke deeltje van de massa van het bewegende voorwerp dezelfde rotatie-impuls bezit.

De rotatie-impuls van de voet van een uitgestrekt, draaiend been (op afstand  $a$  van het zwaartepunt) is dezelfde als de rotatie-impuls van deze voet wanneer hij door de knie te buigen dichterbij de draai-as komt te liggen (afstand  $b$  en  $b = a/2$ ). De volledige uitwerking van de wiskundige omzettingen vind je in bijlage 6.

$I_b = I_a/4$	
$L_a = L_b$	(wet van behoud van rotatie-impuls)
$\omega_b = 4 \omega_a$	
$E_{\text{rotatie } b} = 4 \cdot E_{\text{rotatie } a}$	

Rekenvoorbeeld:

Een karateka (1m 75 groot) voert een draaibeweging uit en trekt daarbij zijn been (14 kg) in. Zijn voet verplaatst van plaats a (op 1 m van het zwaartepunt) naar b (tot op 0.5 m van het zwaartepunt).

mawashi-geri	inertie I (kg.m <sup>2</sup> ) = m x r <sup>2</sup>	$\omega$ rad/s)	rotatie energie (J) = $\frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2$
been gestrekt (1m)	$14 \times 1^2 = 14$	$\pi$ (= 0,5 draaien/s)	$\frac{1}{2} \cdot 14 \cdot \pi^2 = 69 \text{ J}$
been ingetrokken (0.5m)	$14 \times 0,5^2 = 3,5$	$4 \pi$ (= 2 draaien/s)	$\frac{1}{2} \cdot 3,5 \cdot (4 \pi)^2 = 267 \text{ J}$

Bij een halvering van de afstand van de massa tot de draai-as daalt de inertie I tot 25% van de oorspronkelijke inertie en bemerken we verviervoudiging van de hoeksnelheid  $\omega$ .

Bij een halvering van de afstand van de massa tot de draai-as vergroot de rotatie energie met een factor 4.



Zodra de draaibeweging in gang is gezet (zie 1.7.4) kan de karateka door het plooiën én intrekken van de knie tot tegen het lichaam zijn draaisnelheid aanzienlijk vergroten en aldus de geleverde energie impact sterk laten toenemen.

### 3 Besluit

Verskillende fysische grootheden spelen een rol bij het uitvoeren van karate bewegingen. Deze bewegingen kunnen meestal opgesplitst worden in een lineaire (of lateraal) deel en een deel rotatie. Bij het lineaire deel zal spierkracht zorgen voor versnelling van de vuist of voet. De snelheid van vuist of voet bepaalt deels de uiteindelijke hardheid van de impact onder de vorm van een krachtstoot of energieoverdracht. Hierbij beïnvloeden de grootte van het raakoppervlak en de impacttijd eveneens de 'power' van een slag.

Een belangrijke rol is weggelegd voor de massa die deelneemt aan de verschillende fases van een beweging. Zo mag de 'deelnemende' massa bij de start van een beweging niet te groot zijn om de versnelling niet te hinderen. Op het einde van de beweging daarentegen is net een grote hoeveelheid massa nodig om de kracht bij impact zo groot mogelijk te maken. Dit wisselen in deelnemende massa kan beïnvloed worden door het opspannen van spiergroepen en het vastzetten van een beweging net voor impact.

Heel bijzonder dient de karateka aandacht te hebben voor het correcte gebruik van de heupen. Enerzijds, kan bij de start van een instapbeweging door het indraaien van de heupen een extra beetje snelheid aan het geheel van de beweging toegevoegd worden. Anderzijds, zal door het uitvoeren van een tegengestelde rotatie net op het einde van de beweging de massa van de grond mee in de beweging geduwd worden.

Het deel rotatie maakt gebruik van het draaien van de heupen rond een draai-as gevormd door het steunbeen en het zwaartepunt van het lichaam. Hierbij wordt bij de aanvang van de beweging door een samenwerking van de stabiele stand van de benen én de heupen torsie of draaikracht ontwikkeld. Bij voldoende rotatie-impuls kan door de afstand van voeten of vuisten tot de draai-as te variëren de hoeksnelheid en bijgevolg de bijbehorende rotatie energie aangepast worden afhankelijk van de noodzaak; voeten of vuisten dicht bij de draai-as vermindert de inertie, vergroot de draaisnelheid en dus ook de rotatie energie die bij impact wordt overgedragen.

## 4 Bijlagen

### Bijlage 1.

Zie figuur 1.

Gegevens: hoek  $\alpha = 20^\circ$ ,  $F = 1000 \text{ N}$ ,  $a = ?$

Via de Stelling van Pythagoras:

$\cos \alpha = \text{aanliggende rechthoekzijde/schuine zijde} = a/F$

Daaruit volgt :  $a = F \cdot \cos \alpha = 1000 \text{ N} \cdot \cos 20^\circ = 939,69 \text{ N}$

### Bijlage 2

$$[3] \quad v = v_0 + a \cdot \Delta t \quad (\text{met } v - v_0 = \Delta v) \quad \text{of} \quad a = \Delta v / \Delta t$$

$$[4] \quad F = m \cdot a \quad \text{of} \quad a = F / m$$

uit [3] en [4] volgt:  $\Delta v / \Delta t = F / m$

$$\text{oftewel} \quad m \cdot \Delta v = F \cdot \Delta t$$

$$\text{oftewel} \quad \Delta p = F \cdot \Delta t$$

### Bijlage 3

$$L_a = L_b \quad \text{oftewel} \quad I_a \omega_a = I_b \omega_b$$

$$\text{Stel } I_b = I_a / 2 \quad \text{dan} \quad I_a \omega_a = I_a / 2 \cdot \omega_b \quad (I_a \text{ schrappen aan beide zijden})$$

$$\text{Oftewel} \quad \omega_b = 2 \cdot \omega_a$$

### Bijlage 4

$$L = I_{\text{torso}} \cdot \omega_{\text{torso}} = I_{\text{arm}} \cdot \omega_{\text{arm}}$$

$$L = I_{\text{arm}} \cdot \omega_{\text{arm}} = I_{\text{onderarm}} \cdot \omega_{\text{onderarm}}$$

$$\omega_{\text{onderarm}} = (I_{\text{arm}} \cdot \omega_{\text{arm}}) / I_{\text{onderarm}} = (I_{\text{torso}} \cdot \omega_{\text{torso}}) / I_{\text{onderarm}} = ((I_{\text{torsie}} / I_{\text{onderarm}}) \cdot \omega_{\text{torsie}})$$

**Bijlage 5**Stoot met instap:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 7 \text{ kg} \cdot (7 \text{ m/s})^2 = 171,5 \text{ J} \quad (= \text{stoot zonder instap})$$

$$E_p = m \cdot g \cdot h = 70 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,2 \text{ m} = 137,2 \text{ J}$$

$$E_{\text{totaal}} = 171,5 \text{ J} + 137,2 \text{ J} = 309,48 \text{ J}$$

Schop zonder instap:

$$E_{\text{totaal}} = E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 14 \text{ kg} \cdot (12 \text{ m/s})^2 = 1008 \text{ J}$$

**Bijlage 6**Stel:  $r_b = r_a / 2$ 

$$I_a = m \cdot r_a^2 \qquad I_b = m \cdot r_b^2 = m \cdot (r_a/2)^2 = m \cdot r_a^2 / 4 = I_a / 4$$

$$L_a = L_b \qquad I_a \cdot \omega_a = I_b \cdot \omega_b$$

$$\omega_b = I_a \cdot \omega_a / I_b = I_a \cdot \omega_a / (I_a / 4) = 4 \cdot \omega_a$$

$$E_{\text{rotatie b}} = I_b / 2 \cdot \omega_b^2 = [(I_a / 4) / 2] \cdot (4 \omega_a)^2 = (I_a / 4) \cdot 1/2 \cdot 16 \omega_a^2$$

$$\text{Herschikken geeft: } E_{\text{rotatie b}} = (16 I_a / 4) \cdot (1/2 \cdot \omega_a^2) = 4 I_a \cdot E_{\text{rotatie a}}$$

Bijlage 7

Symbool grootheid	Engels	Nederlands	SI-eenheden
M	mass	massa	kg
A	acceleration	versnelling	m/s <sup>2</sup>
F	force	kracht	N (Newton)
V	velocity	snelheid	m/s
T	time	tijd	s
I	impulse	krachtstoot	kg.m/s
I	inertia	inertie of traagheidsmoment	kg.m <sup>2</sup>
P	momentum	impuls	kg.m/s
L	angular momentum	rotatie-impuls	N.m.s
P	pressure	druk	Pa (Pascal)
A	area	oppervlakte	m <sup>2</sup>
$\omega$	angular velocity	hoeksnelheid	rad/s
W	work	arbeid	J (Joule)
E	energy	energie	J (Joule)
T	torque	torsie	N.m



## 5 Voetnoten

- (1) In de werkelijkheid is er bij het einde van een slag niet in volledige stilstand, maar beweegt de verdediger nog wat mee en gaat men ook een beetje in het lichaam van de verdediger in, enz.
- (2) Het gewicht van een karateka wordt in de rekenvoorbeelden op 70 kg gesteld. Een arm weegt ongeveer 10% van het lichaamsgewicht, een been 20 % en bovenlichaam wordt op ongeveer 40 % gerekend. Soms worden de gebruikte waarden wat naar boven of beneden geschat (bijv. 5 kg i.p.v. 7kg voor een arm) om de vergelijking eenvoudiger te maken.
- (3) De Eerste wet van Newton stelt dat een voorwerp dat in rust is, in rust zal blijven tot er een kracht wordt op uitgeoefend. Volgens diezelfde eerste wet van Newton zal een voorwerp dat in beweging is met dezelfde snelheid blijven voortbewegen tot er een kracht wordt op uitgeoefend.
- (4) Eigenlijk moeten we spreken van een resulterende kracht. In de praktijk kunnen verschillende krachten inwerken op een voorwerp zonder dat dit een bewegingsverandering te weeg brengt; dit is het geval wanneer de verschillende krachten elkaar door hun grootte en richting waarin ze werken en aangrijpingspunt opheffen en bijgevolg de resulterende kracht nul is.
- (5) De richting van de kracht is de richting van de versnelling.
- (6) Rotatie-impuls wordt ook impulsmoment, draai-impuls, hoekmoment of draaimoment genoemd. In het Engels: angular momentum of rotational momentum (symbool  $L$  of  $A$ ).
- (7) De snelheid  $v$  is eigenlijk de tangentiële snelheid van een voorwerp, t.t.z. de snelheid loodrecht op de straal  $r$  tussen voorwerp en draai-as) oftewel de raaklijn van de draaibeweging (blauwe pijl in figuur3).

## 6 Bronnen

### Boeken:

- Het beste karateboek voor beginners. Masatoshi Nakayama (1983). Omega Boek, Amsterdam
- Karate. Grondbeginselen. Masatoshi Nakayama (1986). Omega Boek, Amsterdam

### Via Internet:

#### Teksten:

- Karate: Kinematics and Dynamics (Lester Ingber, 1981). [www.ingber.com/karate81\\_book.txt](http://www.ingber.com/karate81_book.txt)
- Bad Martial Arts. Critical Thinking for Self Defense (Aaron and Jon Knapp). <http://www.badmartialarts.com/Science/force.php>
- Physics Fisher Shotokan Karate (Charles Rhodes, 2011). <http://www.xylene.com/Fisher%20Shotokan%20Physics.htm>
- Generating Power (Blair Petriw). <http://www.mts.net/~bcpetriw/Power.htm>
- The Physics of Karate Strikes (Jon Chananie, 1999). Journal of How Things Work. <http://www.howeverythingworks.org/journal/Article1.1.pdf>
- On the Dynamics of Karate (Florin Diacu). <http://www.math.ualberta.ca/pi/issue6/page09-11.pdf>.
- The Physics of Martial Arts (Brian McGonagill, Dr. Charles Myles, 2004). <http://www.phys.ttu.edu/~cmyles/Phys5306/Papers/2004/Physics%20of%20Martial%20Arts.doc>
- How Karate Works (Tom Harris). <http://people.howstuffworks.com/karate2.htm>
- Zenkutsu-datchi and the wobbly knee (Scott Langley). Een artikel dat te vinden is in de interessante lijst van The Shotokan Way- website. [http://www.theshotokanway.com/articlelinks.html](http://www.theshotokanway.com/articlelinks)
- Physical Aspects of Karate (Shitoryu Karate Do Cyber Academy). Artikel te vinden in de lijst van Newsletters and Articles op volgende website: <http://www.shitokai.com/newsletters.php>

#### You-tube:

- Filmpjes van Sensei KAGAWA
- National Geographic: Fight science