Theoretische Betrachtungen zum Bruchtest im Taekwon-Do

von Dr.-Ing. Jörg Raven, 4. Dan

Inhalt

Einleitung

Fragt man Zuschauer, was sie an asiatischen Kampfsportarten besonders beeindruckt, so wird man unter den Antworten immer das Zerschlagen und Zertreten von Brettern, Ziegelsteinen und ähnlichen Zielen finden. Natürlich heben Filme und Vorführungen die Disziplin Bruchtest (kaekpa) besonders hervor, da sie spektakulär und somit werbewirksam ist. Oft wird heftig übertrieben: Der Hauptdarsteller springt einen flotten 3-fach-Salto und zerschlägt dabei 3 Gegner, 7 Bretter, 5 Ziegelsteine und eine Ameisenarmee (na gut, vielleicht habe ich jetzt übertrieben). Wer sich mit Taekwon-Do näher beschäftigt, stellt allerdings schnell fest, daß der Bruchtest gar nicht gezielt geübt wird, sondern ein Nebenprodukt der erlernten Techniken darstellt. Diese Tatsache wird auch in der Taekwon-Do-Literatur [P], [K] besonders betont.

Trotzdem: Eines Tages - nach etwa 1,5 Jahren Training - steht der Schüler vor dem Problem, seinen ersten Bruchtest durchführen zu müssen. Meist in der Graduierungsprüfung zum Blaugurt (4. Kup).

Als Trainer stellt sich für mich das Problem, daß ich die zugehörige Technik im Training lediglich "trocken", d. h. zum Beispiel am Sandsack, üben lassen kann. Bretter stehen aus Kosten- und Organisationsgründen nicht zur Verfügung, da viele Schüler (unterschiedliche körperliche Voraussetzungen) und viele Techniken (unterschiedlicher Schwierigkeitsgrad) eine Unzahl an Brettern (möglichst mit unterschiedlicher Dicke) erfordern. Folglich gehen die rein theoretischen Informationen während des Trainings bei den Schülern "zum einen Ohr 'rein" und ohne jegliche Bearbeitungszeit "zum anderen Ohr 'raus" ("Was will er?", "Hat er was gesagt?", "Ey Mann, voll uncool hier."). Dies führt wiederum dazu, daß selbst auf Dan-Prüfungen, also bei angehenden Meistern, in erschrenkendem Maße Unwissen zum Thema Bruchtest - vom Thema Theorie (ilon) ganz zu schweigen - zu beobachten ist.

Nun denn, was im Training nicht zu vermitteln ist, kann man dem Schüler ja schriftlich "auf's Auge drücken". So entstand dieser Artikel. Ich habe dazu einerseits die Literatur [P], [K] nach Hinweisen durchsucht (Teil 1) und andererseits eigene Überlegungen und Berechnungen (Teil 3) angestellt. Damit das Ganze auch ohne Vorwissen verständlich ist, werde ich im 2. Teil kurz die dazugehörigen physikalischen Zusammenhänge erklären.

1. Der Bruchtest aus Sicht des Taekwon-Do

Bevor die eigentliche Technik - im weiteren Verlauf dieses Artikels gehe ich stillschweigend davon aus, daß es sich um einen Bruchtest per Faustst0ß (ap-jumok-ap-jirugi) handelt - ausgeführt werden kann, ist bereits einiges an Vorbereitung zu leisten:

a) Es sind geeignete Bretter auszuwählen:

- Maße: ca. 30 cm · 30 cm bei einer Dicke von 1,8...3,5 cm (je nach Prüfungsordnung!),
- Material: trockenes, abgelagertes, unbehandeltes Nadelholz (nicht gehobelt, geleimt oder lackiert; Fichte, Kiefer oder Tanne).

b) Diejenigen, die das Brett halten, müssen:
- in einer festen Fußstellung stehen,
- während der Ausführung der Technik alle Muskeln anspannen, um möglichst nicht nachzugeben und um beim Schlag das Brett nicht fallen zu lassen,
- das Brett mit gestreckten Armen festhalten (oder ein Arm gestreckt und der andere auf der Hüfte abgestützt),
- mit der Hand auf der Seite des vorderen Beines das Brett unten fassen, mit der anderen Hand oben fassen,
- so fassen, daß sich die Handballen "hinter" dem Brett und die Finger "vor" dem Brett befinden (auch bei hohen Techniken oder bei "frei" gehaltenem Brett),
- das Brett "richtig herum" halten (dazu später mehr!).
- Halten 2 Leute das Brett, sollten sie möglichst eng nebeneinander stehen (Schulterschluß).

c) Derjenige, der den Bruchtest ausführt, muß:
- sich vor der Ausführung der Technik konzentrieren (den Ablauf des Bruchtests in Gedanken "durchspielen"),
- auf Zielgenauigkeit achten (2-seitig bzw. fest gehaltenes Brett: in der Mitte treffen, 1-seitig bzw. frei gehaltenes Brett: im oberen Drittel treffen),
- während des Treffens einen festen Stand haben,
- die Technik arretieren (Brennpunkt) und anschließend das Angriffsteil zurückziehen, um Verletzungen (eigene und solche derjenigen, die das Brett halten) zu vermeiden ("auf" nicht "durch" das Brett schlagen),
- mit der Ausführung der Technik nicht zu lange warten, damit diejenigen, die das Brett halten, nicht die Konzentration verlieren,
- im Augenblick des Treffens alle Muskeln anspannen (Erhöhung des eingesetzten Körpergewichtes, $F = \underline{m} \cdot a$),
- die Hüfte (Hüftdrehung) zur zusätzlichen Beschleunigung einsetzen ($F = m \cdot \underline{a}$).

Schließlich sollte man nicht versuchen zu mogeln, indem man das Brett entsprechend präpariert. Bricht das Brett schon vor Ausführung der Technik, weil die Haltenden zu fest zugepackt haben, macht das keinen allzu guten Eindruck. (Alles schon gesehen, der bewußte Prüfling fiel übrigens durch!)

Viele der oben genannten Punkte sind trainierbar, andere sind schlicht eine Frage des Wissens. Für das "richtige" Positionieren des Brettes scheint zu gelten: Je öfter man das Brett dreht, umso leichter wird der Bruchtest. Oder warum sieht man diese minutenlange Wenderei und Dreherei in jeder Prüfung? Um nun nicht den Einflüsterungen der Wender (mir ist schon ganz schwindlig, vor allem, weil jetzt auch noch der Prüfer anfängt mitzuwenden) zu erliegen, kommen wir nun zur trockeneren, naturwissenschaftlichen Sicht der Dinge.

2. Der Bruchtest aus naturwissenschaftlicher Sicht

2.1 Das Material Holz

Betrachten wir zunächst das Material Holz etwas genauer. Bild 1 zeigt einen Holzblock mit der entsprechenden Maserung (dünne Linien).

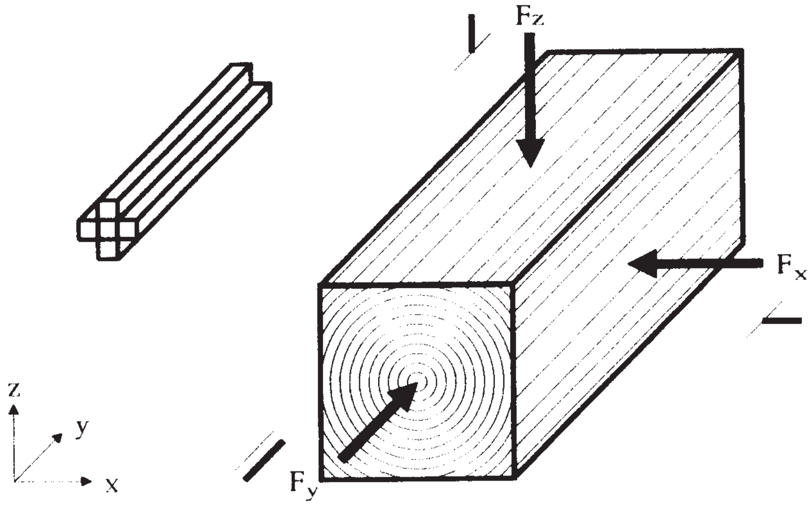
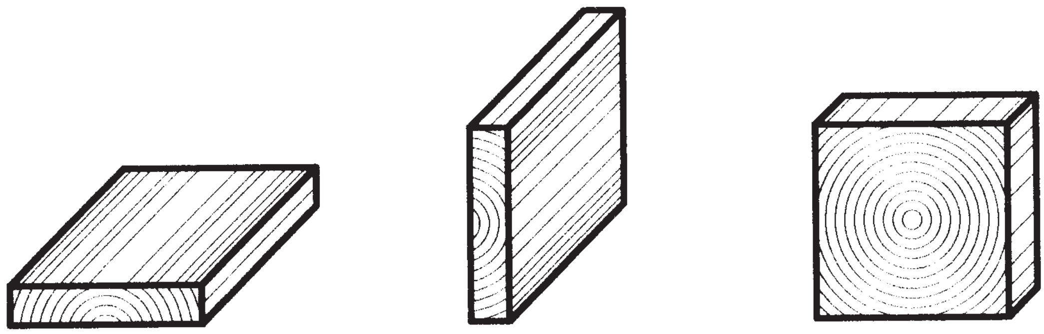


Bild 1: Holzblock

Um das Materialverhalten besser verstehen zu können, stellen wir uns das Holz als aus in y-Richtung verlaufenden Fasern zusammengesetzt vor (s. oben links im Bild). Außerdem gehen wir davon aus, daß der innere Zusammenhalt einer einzelnen Faser stabiler ist als die Verbindung verschiedener Fasern. Die Folge ist, daß Holz in Längsrichtung (F_y) stärker belastet werden kann als in Querrichtung (F_x oder F_z). In Tabellenwerken wie [S] kann man nachschlagen, daß die Festigkeit parallel zur Faser mehr als das 30-fache der Festigkeit senkrecht zur Faser beträgt (für Experten: Elastizitätsmodul für Nadelholz parallel zur Faser E_p = 10.000 N/mm^2, senkrecht zur Faser E_s = 300 N/mm^2).

Zerlegt man den Holzblock in Bretter, so kann man grundsätzlich auf drei verschiedene Arten sägen (Bild 2).



a - Schnitt z = const. b - Schnitt x = const. c - Schnitt y = const.

Bild 2: Bretter

Da wie gesagt das Holz parallel zur Faser besonders stabil ist, wäre es höchst unklug, Bretter zu verwenden, die wie in Bild 2-c gemasert sind (Aua!). Üblicherweise verwendet man daher Bretter, die wie in Bild 2-a und 2-b dargestellt aussehen.

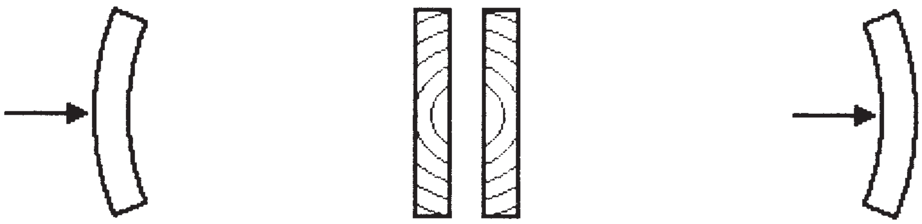
Im Allgemeinen besteht nun Einigkeit darüber, daß man das Brett (z. B. für einen Fauststoß, d. h. für einen Treffer mit zwei Faustknöcheln) wie in Bild 3-a und nicht wie in Bild 3-b hält, da man die Kraft im ersten Fall auf eine Faser des Brettes konzentriert, anstatt sie auf verschiedene Fasern aufzuteilen.

a - Fasern waagerecht b - Fasern senkrecht

Bild 3: Wahl der Faserrichtung (Punkte = Faustknöchel)

Dabei will ich gar nicht behaupten, daß der Fall 3-b nicht zum Zerbrechen des Brettes führt, ich halte ein derartiges Vorgehen nur für sehr ungeschickt.

Betrachten wir im nächsten Schritt das Brett von der Seite:
Ist das Brett ideal gerade, so ist die Schlagrichtung (von links oder von rechts) beliebig. Der Verlauf der Maserung (Bild 4-b) spielt bei dieser Betrachtung nur eine unbedeutende Rolle, da in jedem Fall senkrecht zur Faser geschlagen wird (man denke an Bild 1).



a - gegen die Wölbung b - Brett gerade c - in die Wölbung

Bild 4: Wahl der Schlagrichtung

Bretter sind allerdings nur in den seltensten Fällen gerade, sondern bedingt durch Lagerung und Trocknung des Holzes gewölbt. Bei Diskussion der Frage, ob man gegen die Wölbung (Bild 4-a) oder in die Wölbung (Bild 4-c) schlagen soll, streiten sich jedoch die Geister. Solche Diskussionen führen in der Tat zu "Argumenten" wie "... das ist halt so... " oder "... mein Gefühl sagt mir ...".

Nun ja, nichts gegen Intuition, aber gerade das Taekwon-Do stellt ja den Anspruch wissenschaftlich fundiert zu sein. Wollen wir das Problem wissenschaftlich angehen, müssen wir allerdings zunächst einige physikalische Grundbegriffe klären (ohne geht's nunmal nicht).

2.2 Physikalische Grundbegriffe

2.2.1 Kraft

In der Physik ist eine Kraft F die Ursache für die Änderung des Bewegungszustandes eines Körpers (1. Newton'sches Gesetz). Man kann die Größe einer Kraft aus der Masse m und der Beschleunigung a des betrachteten Körpers berechnen ($F = m \cdot a$, 2. Newton'sches Gesetz). Maßeinheit der Kraft ist das Newton (1 N).

Wie groß aber sind die Kräfte, die bei einem Bruchtest auftreten?

Beschleunigung:

In [C] findet man das Bild eines Fauststoßes, der mit einer Blitzzeit von 1/30 s fotografiert wurde. Nehmen wir an, daß der Fauststoß in t = 0,1 s vollständig ausgeführt wurde und die Faust dabei einen Weg von ca. s = 1 m zurücklegt, so ergibt sich eine Endgeschwindigkeit der Faust von

$$v = s/t = 1\ \mathrm{m}\ /\ 0{,}1\ \mathrm{s} = 10\ \mathrm{m/s} \quad ,$$

wobei v Geschwindigkeit, s Weg und t Zeit bedeuten.

Da die Faust sich anfangs nicht bewegt ($v_0 = 0$ m/s), errechnet sich die dazu notwendige Beschleunigung zu

$$a = \Delta v/t = (10\ \mathrm{m/s} - 0\ \mathrm{m/s})\ /\ 0{,}1\ \mathrm{s} = 100\ \mathrm{m/s^2} \quad ,$$

mit a Beschleunigung, Δv Differenz der Geschwindigkeiten (Δ ist ein griechisches Delta) und t Zeit.

Masse:

Durch Hüftdrehung und Anspannen aller Muskeln versucht man bekanntlich, bei Ausführung einer Technik möglichst viel Körpergewicht (Masse) einzusetzen. Nehmen wir an, daß die Hand und ein Teil des Armes 2 kg wiegen und schätzen wir weiterhin, daß es uns gelingt, weitere 8 kg unseres Körpergewichtes (insgesamt also 10 kg, bei einer Person, die 70 kg wiegt, immerhin 1/7 des Gesamtgewichtes) in die Technik zu legen, so erhalten wir schließlich die

Kraft:

$$F = m \cdot a = 10\ \mathrm{kg} \cdot 100\ \mathrm{m/s^2} = 1000\ \mathrm{N} \quad .$$

Schlägt man in der Fachliteratur [H] mögliche Kräfte des Hand-Arm-Systems nach, so findet man Werte zwischen 85 N und 735 N (je nach Richtung der Kraft und ohne Bewegung der Hand). Unsere Schätzung ist somit von der Größenordnung her richtig, allenfalls etwas zu hoch.

Der umgekehrte Vorgang (Faust ist in Bewegung und wird durch das Brett auf die Geschwindigkeit 0 abgebremst) ist schwieriger einzuschätzen, da die Zeitspanne, in der die Faust auf das Brett einwirkt, nicht bekannt ist. Sicherlich ist diese Zeitspanne kürzer als die Zeit für den gesamten Fauststoß, so daß höhere Beschleunigungen und folglich höhere Kräfte auftreten. Die überhöhte Abschätzung erscheint damit gerechtfertigt.

Also: Für die weiteren Berechnungen wird davon ausgegangen, daß eine Kraft von 1000 N realistisch ist.

2.2.2 Aktionskraft und Reaktionskraft

Zu jeder Kraft existiert eine gleich große, entgegengesetzt gerichtete Gegenkraft (actio = reactio, 3. Newton'sches Gesetz). Schlage ich mit der Faust (Aktionskraft) gegen ein Brett, das oben und unten festgehalten wird, so ergibt sich das folgende Bild (Bild 5):

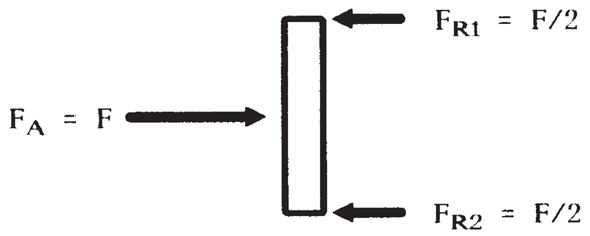


Bild 5: Aktions- und Reaktionskraft

An den Stellen, an denen das Brett gehalten wird, wirken zwei Kräfte F_R (Reaktionskräfte), die zusammen genauso groß wie die Aktionskraft F_A sind. Wären die Reaktionskräfte nicht vorhanden, würde sich das Brett in Richtung der Kraft F_A bewegen (also wegfliegen).

Warum aber wird das Brett zerstört? Dazu brauchen wir den nun folgenden Begriff der Spannung.

2.2.3 Spannung

Die Kräfte F_A, F_{R1} und F_{R2} bewirken, daß das Material des Brettes beansprucht wird. Das Brett steht unter Spannung (zu verstehen als Anspannung, nicht als 220 Volt aus der Steckdose!). Physikalisch beschreibt man diese Spannung σ (der komische Kringel ist griechisch und heißt Sigma) als Kraft pro Fläche

$$\sigma = F/A$$

und mißt sie in N/mm^2.

Für uns sind dabei speziell zwei Sonderfälle interessant (Bild 6):

a - Belastung auf Zug b - Belastung auf Druck

Bild 6: Sonderfälle Zug und Druck

Zieht man an einem Körper (Bild 6-a), so spricht man von Zugspannungen und Zugkräften. Drückt man einen Körper zusammen (Bild 6-b), so spricht man von Druckspannungen und Druckkräften.

Jedes Material kann nun eine bestimmte Spannung ertragen, ohne zerstört zu werden. Man nennt die Spannung, die zum Bruch führt, die zulässige Spannung σ_{zul}. Solche Spannungen werden experimentell ermittelt und in Tabellenwerken [S] zusammengestellt (Tabelle 1).

Beanspruchungsart		Nadelholz Güteklasse			Laubholz Gruppe		
		III	II	I	A	B	C
Zug ∥ Faser	$\sigma_{z,p,zul}$	0	8,5	10,5	10		15
Zug ⊥ Faser	$\sigma_{z,s,zul}$		0,05		0,05		
Druck ∥ Faser	$\sigma_{d,p,zul}$	6	8,5	11	10	13	20
Druck ⊥ Faser	$\sigma_{d,s,zul}$	2,0 (2,5)			3 (4)	4	8

z Zug, d Druck, p parallel, s senkrecht, zul zulässig
Gruppe A: Eiche, Buche, Keruing, Teak mit mindestens Güteklasse II
Gruppe B: Afzelia, Merbau, Angelique mit mindestens Güteklasse II
Gruppe C: Azobe, Greenheart mit mindestens Güteklasse II

Die Werte in Klammern sind zulässig, wenn größere Eindrücke (= Dellen) im Holz in Kauf genommen werden können.

Tabelle 1: zulässige Spannungen in N/mm^2 [S]

Typisch für das Material Holz ist, daß die zulässigen Spannungen größer sind, wenn man das Holz parallel zur Faser statt senkrecht zur Faser belastet. Wie schon anfangs erwähnt, ist es also günstig, senkrecht zur Faser zu schlagen.

Desweiteren ist zu erkennen, daß Laubholz stabiler ist als Nadelholz (die zulässigen Spannungen für Laubholz sind höher als die für Nadelholz), so daß es auch aus dieser Sicht günstig ist, Bretter aus Nadelholz für einen Bruchtest zu verwenden.

Schließlich zeigt die Tabelle, daß Holz größere Druckspannungen $\sigma_{d,zul}$ erträgt als Zugspannungen $\sigma_{z,zul}$. Dies ist eine typische Eigenschaft spröder Materialien, also von Materialien, die bei Überbeanspruchung zersplittern (Holz, Keramik, Glas). Bei zähen Materialien (Kunststoff, Gummi) ist dieser Unterschied im Allgemeinen nicht so ausgeprägt.

Erzeugt man nun mit der Kraft F_A und den daraus resultierenden Kräften F_{R1} und F_{R2} im Brett eine Spannung, die größer ist als die kleinste, zulässige Spannung (also größer als der kleinste der Werte $\sigma_{z,p,zul}$, $\sigma_{z,s,zul}$, $\sigma_{d,p,zul}$, $\sigma_{d,s,zul}$), so wird das Brett zerbrechen.

2.3 Auswahl der Schlagrichtung

Wir haben im vorangegangenem Abschnitt die notwendigen Begriffe kennengelernt, mit denen wir einen Bruchtest physikalisch beschreiben können. Also wenden wir diese Kenntnisse nun an.

Ursprünglich wollten wir die Frage klären, ob man in die Wölbung oder gegen die Wölbung schlagen soll (Bild 4).

Ich gebe lieber gleich zu, daß mir Argumente für "Schlag gegen die Wölbung" nicht eingefallen sind. Aber für "Schlag in die Wölbung" weiß ich welche:

1. Argument:
"Spannung ist gleich Kraft pro Fläche ($\sigma = F/A$)" bedeutet: Je kleiner die Fläche (bei gleicher Kraft), desto mehr Spannung wird erzeugt. Schlägt man auf ein Brett, so wird die aufgebrachte Druckkraft F über die Fläche A an die Ränder des Brettes weitergegeben. Je nach Schlagrichtung ist entweder die Innen- (Bild 7-a) oder die Außenfläche (Bild 7-b) maßgebend.

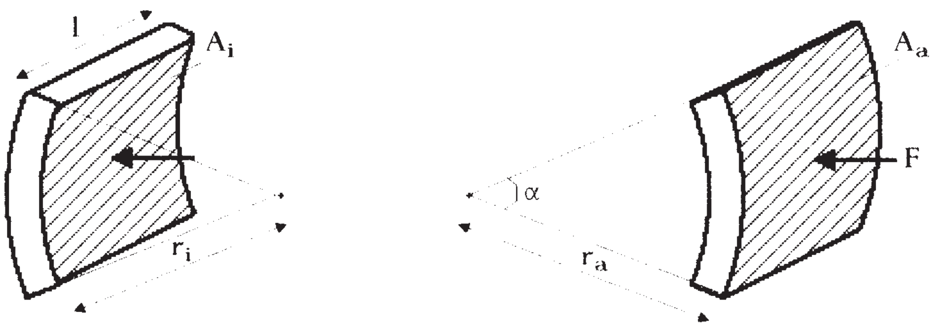


Bild 7: Brett mit Krafteinleitung

Auf Grund der Wölbung des Brettes ist die Innenfläche A_i kleiner als die Außenfläche A_a, da der Außenradius r_a größer als der Innenradius r_i ist (die Länge l ist jeweils gleich). Also entsteht bei Schlag in die Wölbung eine größere Spannung

$$\sigma_i = F/A_i > \sigma_a = F/A_a \quad .$$

Beispielsweise könnte ein Brett folgende Maße aufweisen:

r_i = 29,375 cm, r_a = 31,875 cm, d. h. das Brett ist 2,5 cm dick und um 1,25 cm (also deutlich sichtbar) durchgebogen, $\alpha = 50{,}4^{\circ}$.

Die Innen- und Außenfläche berechnen sich zu:

$$A = b \cdot l$$

wobei b die Länge des gebogenen Randes angibt und sich gemäß

$$b = (\alpha^{\circ}/180^{\circ}) \cdot \pi \cdot r$$

berechnet.

Also gilt:

$$A_i = (\alpha^o/180^o) \cdot \pi \cdot r_i \cdot l \quad .$$
$$A_a = (\alpha^o/180^o) \cdot \pi \cdot r_a \cdot l \quad .$$

Nach Einsetzen aller Werte erhält man, daß die Außenfläche A_a um ca. 8,5 % größer ist, als die Innenfläche A_i.

2. Argument:

Bretter sind - wie schon mehrfach erwähnt - in der Regel gewölbt. Nehmen wir an, das Brett war anfangs gerade (Bild 8-a).

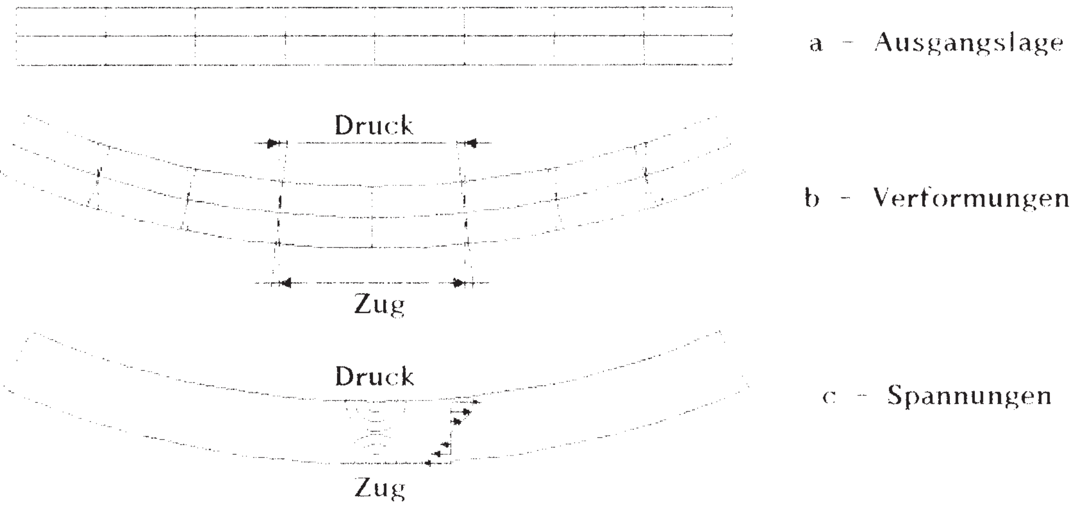


Bild 8: Biegevorgang

Anschließend wird es durch Lagerung oder Trocknung gebogen (Bild 8-b). Dieser Biegevorgang bewirkt nun, daß Punkte an der Oberseite des Brettes sich aufeinander zu bewegen, während Punkte an der Unterseite sich voneinander entfernen. Bild 8-b zeigt dies an Hand der eingezeichneten Linien (gestrichelt = Ausgangslage, durchgezogen = nach Biegevorgang). Die Folge ist, daß an der Oberseite des Brettes Druckkräfte und somit Druckspannungen entstehen, während an der Unterseite Zugkräfte und Zugspannungen zu finden sind.

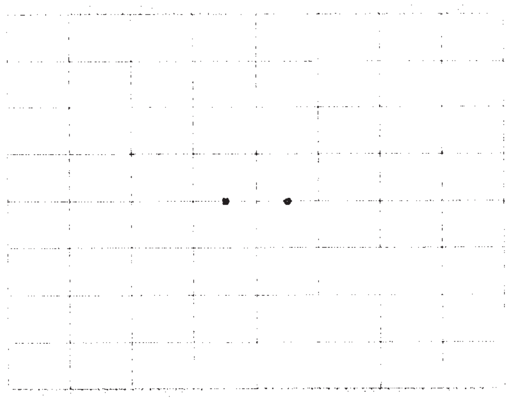
Bild 8-c stellt diese Spannungen grafisch dar. Dabei kann man die Spannungen entweder als Linien gleicher Spannung (links im Bild, ähnlich den Höhenlinien in einer Landkarte) oder als Pfeile (rechts im Bild) darstellen. Je enger die Linien zusammenliegen, desto stärker der Anstieg der Spannungen (im Bild: gleichmäßiger Anstieg), bzw. je länger die Pfeile, desto größer die Spannung. Die Spannungen, die bereits vor dem Bruchtest existieren, bezeichnet man als "Eigenspannungen" des Brettes.

Schlägt man nun in die Wölbung (man bringt also von oben her Druck auf), so verstärkt man die vorhandene Biegung und erhöht somit die bereits vorhandenen Druck- und Zugspannungen. Schlägt man hingegen gegen die Wölbung (man bringt also von unten her Druck auf), so verringert man die Biegung und die Eigenspannungen. Folglich scheint es günstiger zu sein, in die Wölbung des Brettes zu schlagen.

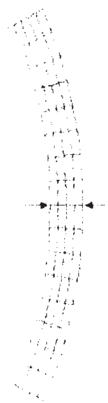
3. Berechnung eines Bruchtests

Aus den bisherigen einfachen Überlegungen haben wir erste Erkenntnisse über den Bruchtest gewinnen können. Zur ausführlicheren Betrachtung eines Brettes während des Bruchtests werde ich nun ein spezielles, mathematisches Verfahren, die sogenannte "Methode der finiten Elemente", verwenden. Dieses Verfahren erfreut sich in den Ingenieurwissenschaften großer Beliebtheit, da es computergerecht (Computer rechnet, Mensch trinkt solange Tee), vielfach erprobt und fast universell einsetzbar ist. Man kann Stäbe und Balken (1-dimensional), Scheiben und Platten (2-dimensional) oder auch ganze Körper (3-dimensional) berechnen.

Der zu berechnende Körper wird dazu in finite, d. h. endlich große (im Gegensatz zu "unendlich kleine") Elemente, aufgeteilt. Es entsteht ein Netz von Elementen, wie es Bild 9 zeigt.



a - Vorderansicht



b - Seitenansicht

Bild 9: ein Netz aus Elementen

Die Punkte und Pfeile geben an, an welchen Stellen Kräfte eingeleitet werden. Ein Punkt (Vorderansicht) bedeutet, daß die Richtung der Kraft in die Zeichenebene hinein deutet, die als Pfeile (Seitenansicht) dargestellten Kräfte werden natürlich einzeln und nicht etwa gleichzeitig aufgebracht.

Das Brett wird mit 4 Händen gehalten. Die schraffierten Bereiche zeigen, an welchen Stellen gehalten wird.

Da ein Brett besonders einfach aufgebaut ist (die Angaben Breite, Höhe, Dicke und Krümmung genügen, um seine Form ausreichend genau zu beschreiben), genügt eine zweidimensionale Berechnung. Dies spart gegenüber einem dreidimensionalem Problem viel Arbeit (Erstellung und Eingabe der Daten für das Netz) und viel Rechenzeit.

Bei 2-dimensionalen Problemen unterscheidet man Platten- und Scheibenberechnungen (Bild 10).

a - Brett als Platte b - Brett als Scheibe
Bild 10: Platten und Scheiben (dicke Linie = Brettebene)

Liegt die Kraft F außerhalb der Brettebene (Bild 10-a), so handelt es sich um ein Plattenproblem, liegt sie in der Brettebene (Brett 10-b), um ein Scheibenproblem. Die zugehörigen Berechnungsverfahren setzen leider einiges an Mathematik-Kenntnissen voraus, so daß ich an dieser Stelle auf die Literatur [B] verweisen muß. Es sei daher nur erwähnt, daß die Berechnung von Scheiben einfacher ist als die von Platten (für den Fall "Brett als Scheibe" löst der Computer ein lineares Gleichungssystem mit 466 Gleichungen und 466 Unbekannten, für den Fall "Brett als Platte" sind es 675 Gleichungen mit 675 Unbekannten). In jedem Fall erhält man jedoch als Ergebnis schließlich die Spannungen im Brett. Zur grafischen Darstellung habe ich im folgenden immer die Darstellung als Linien gleicher Spannung gewählt.

Als erstes berechnen wir ein Brett als Platte, d. h. in der Vorderansicht. Das Brett mit den 2 Auftreffpunkten der Faustknöchel (siehe Punkte in der Brettmittte) sieht demnach so aus (Bild 11):

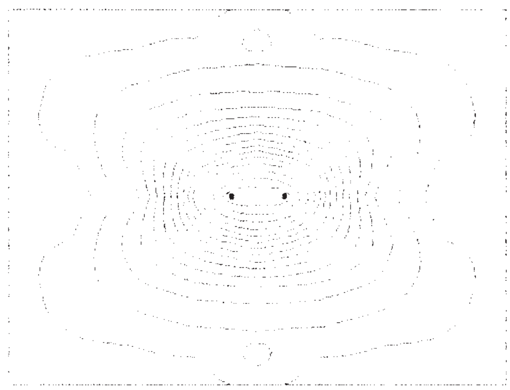


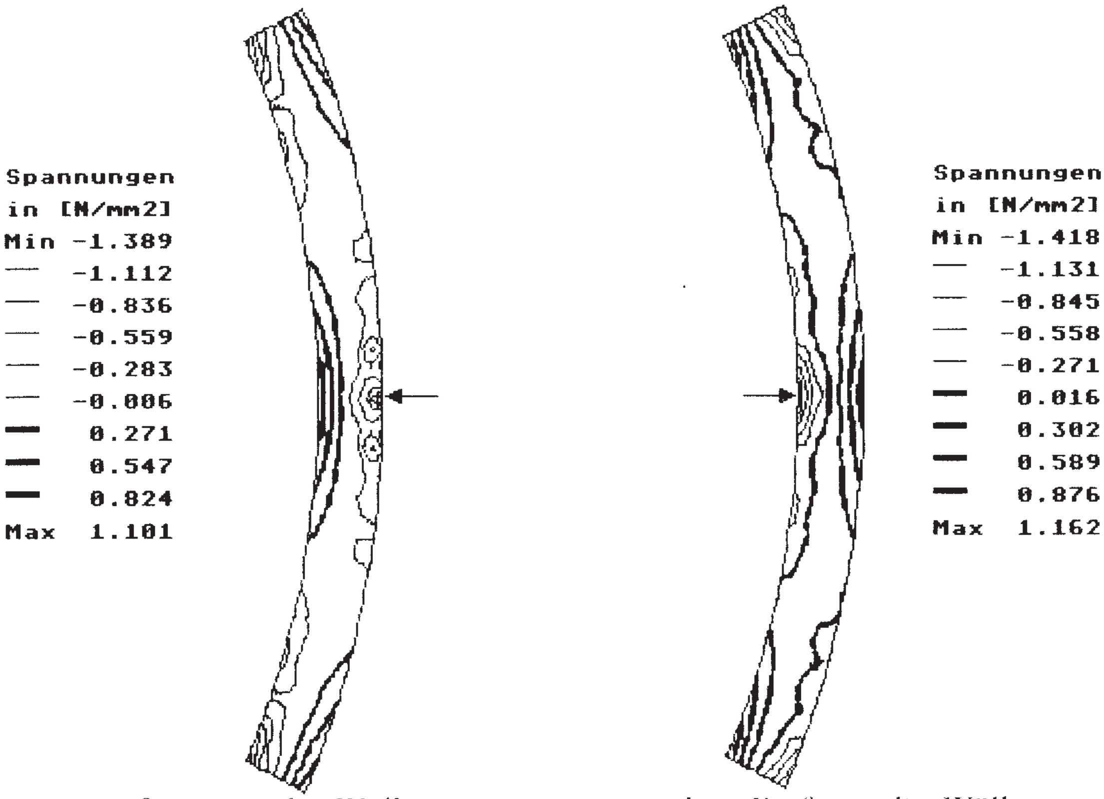
Bild 11: Spannungen in der Platte

Dabei wurde angenommen, daß das Brett die Maße 30 cm · 30 cm · 2,5 cm aufweist und aus Nadelholz besteht. Jeder Faustknöchel soll eine Kraft von 500 N bewirken, insgesamt somit 1000 N. Es wurde zudem berücksichtigt, daß sich Holz bei Belastung in Faserrichtung stabiler verhält als bei Belastung senkrecht zur Faser (der Fachbegriff lautet anisotropes Materialverhalten).

In der Mitte des Brettes findet man besonders hohe Spannungen (viele, enge Linien), während zu den Rändern hin geringere Spannungen (wenige, weit entfernte Linien) vorliegen. Oder anders ausgedrückt: Von der Krafteinleitung aus nach außen bauen sich die Spannungen immer mehr ab. Dies war sicherlich zu erwarten.

Interessanter wird es, wenn man das Brett als Scheibenproblem berechnet.

Zum Vergleich berechnen wir einmal ein Auftreffen der Kraft gegen die Wölbung des Brettes (Bild 12-a) und einmal in die Wölbung (Bild 12-b).



a - Kraft gegen die Wölbung b - Kraft in die Wölbung

Bild 12: Spannungen in der Scheibe

Dabei bedeuten dünne Linien Druckspannungen ($\sigma < 0$) und dicke Linien Zugspannungen ($\sigma > 0$). Man erkennt, daß an der Stelle der Krafteinleitung jeweils Druckspannungen vorliegen (klar, wir "drücken" ja auch auf's Brett). An der gegenüberliegenden Seite finden sich Zugspannungen, so wie dies bereits in Bild 8 vorhergesagt wurde (es gelten ähnliche Gründe). Die Spannungen am oberen und unteren Rand des Brettes hängen sehr stark davon ab, wie das Brett gehalten wird (in zwei Richtungen fest oder nur in einer Richtung fest), sie sollen uns daher nicht weiter interessieren.

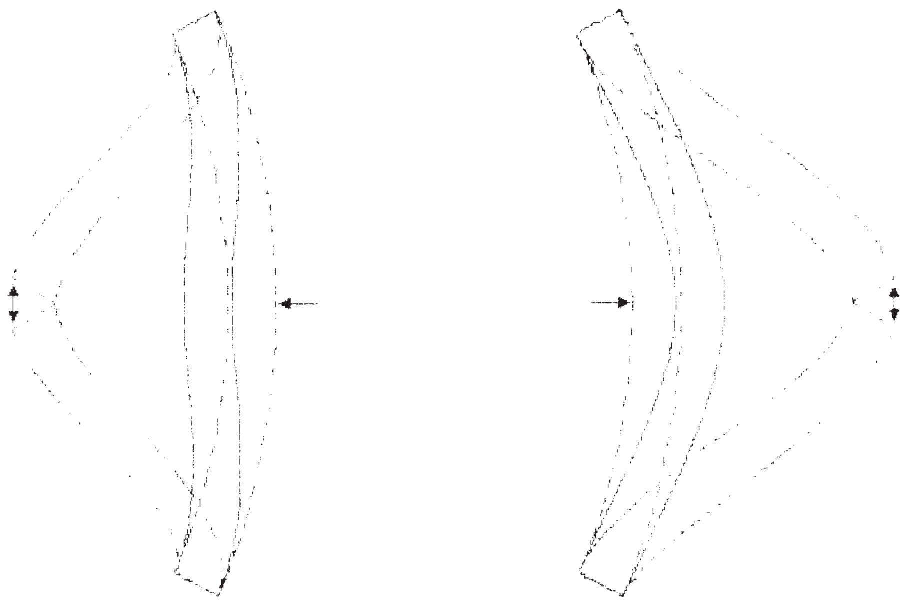
Die Zahlenwerte der Spannungen zeigen, daß in beiden Fällen die maximale Zugspannung (a - 1,101 N/mm^2, b - 1,162 N/mm^2) größer als die zulässige Zugspannung (0,05 N/mm^2, s. Tabelle 1) ist. Die maximale Druckspannung (a - 1,389 N/mm^2, b - 1,418 N/mm^2) ist in beiden Fällen geringer als die zulässige Druckspannung (2,5 N/mm^2, s. Tabelle 1). Die Spannungen für den Fall "Schlag <u>in</u> die Wölbung" sind - wie vorausgesagt - jeweils größer.

Zu erwarten ist, daß die auftretenden Zugspannungen an der Brettrückseite den Bruch verursachen werden. Dies stimmt mit der Realität überein (das Brett bricht nach hinten weg, nicht nach vorn).

Erinnern wir uns an Abschnitt 2.3, so erscheint es nunmehr fraglich, ob das 1. Argument wirklich zutreffend ist. Schließlich führen nicht wie dort vorausgesetzt die Druckspannungen zum Bruch, sondern wie eben festgestellt die Zugspannungen. Dennoch: Bild 12 zeigt, daß bei Schlag auf die Innenfläche eine größere Druckspannung und somit auch auf der Brettrückseite eine größere Zugspannung entsteht. Die maximalen Druckspannungen unterscheiden sich um ca. 2,0 %, die maximalen Zugspannungen um ca. 5,5 % (zum Vergleich: vorausgesagt waren 8,5 %). Unsere Voraussage beschreibt somit zwar nur indirekt den Bruchvorgang, sie liefert aber immerhin eine von der Größenordnung her vernünftige Schätzung.

Das 2. Argument aus Abschnitt 2.3 hingegen wird durch Bild 12 noch bestärkt. Im einen Fall (Bild 8) wird zwar das Brett durch Trocknung gebogen, im anderen Fall (Bild 12) durch eine Einzelkraft (Fauststoß), die Wirkung ist in beiden Fällen aber gleich. Würde man beide Fälle gleichzeitig betrachten, d. h. die Spannungen aus der Einzelkraft den Eigenspannungen überlagern, so würden sich die Zahlenwerten addieren. Folglich würde der hier errechnete Effekt ("Schlag in die Innenseite ist günstiger") noch verstärkt.

Zur Verdeutlichung stellt Bild 13 das Zerbrechen des Brettes, so wie es in Bild 12 berechnet wurde (also ohne Eigenspannungen), noch einmal grafisch dar.



a - Kraft gegen die Wölbung b - Kraft in die Wölbung

Bild 13: Bruchvorgang

Aus der Ausgangslage (gestrichelte Linie) wird das Brett verformt (durchgezogene Linie) bis es zerbricht (gestrichelte Linie mit Doppelpfeil). Die auftretenden Verformungen liegen in der Größenordnung von 1...2 mm und wären im Bild normalerweise nur schwer zu erkennen. Um dennoch einen Eindruck von der Formänderung des Brettes zu erhalten, wurden sie daher um den Faktor 5 (durchgezogene Linie), bzw. um den Faktor 25 (Bruch), vergrößert dargestellt.

Die vorgenommenen Untersuchungen zeigen also, daß es günstiger ist, in die Wölbung des Brettes zu schlagen als gegen die Wölbung. Desweiteren wird klar, daß auch ein Brett, das gegen die Wölbung belastet wird, zerschlagen werden kann. Es ist halt 2...8,5 % (je nach Argumentation) mehr Kraft aufzuwenden, das ist sicherlich nicht unmöglich. Oder anders ausgedrückt: "Man macht sich das Leben unnötig schwer, wenn man gegen die Wölbung schlägt".

Fazit:

Der vorliegende Artikel hat den Bruchtest im Taekwon-Do aus sportlicher und naturwissenschaftlicher Sicht dargestellt. Das Material Holz und die Art und Weise, wie man ein Brett während des Bruchtests halten sollte, wurden untersucht. Dabei wurde festgestellt, daß es günstiger ist, in die Wölbung des Brettes zu schlagen als gegen die Wölbung.

Bis zum Beweis des Gegenteiles wünsche ich allen Lesern "Gut Holz"!

Jörg Raven, Dortmund im Februar 1995

Literaturverzeichnis

[A] B. Assmann, "Technische Mechanik", Oldenbourg Verlag

[B] K.-J. Bathe, "Finite-Elemente-Methoden", Springer Verlag

[C] Choi Hong Hi, "Taekwon-Do", Budo-Verlag

[H] Handbuch der Arbeitsgestaltung und Arbeitsorganisation, VDI-Verlag

[K] Kwon Jae Hwa, "Zen-Kunst der Selbstverteidigung - Taekwon-Do-Karate", Otto Wilhelm Barth Verlag

[P] Wilfried Peters, "Moderner Kampfsport - Taekwon-Do", Verlag W. Peters

[S] K.-J. Schneider, "Bautabellen", Werner-Verlag

Über den Autor:

Jörg Raven betreibt seit 1980 Taekwon-Do. Er trainierte bei M. Geburt, J. Gimmerthal und Ch. Wintzer. Seit 1985 ist er als Trainer in Dortmund tätig. 1990 bestand er die Prüfung zum 4. Dan. Er ist von Beruf Maschinenbau-Ingenieur und promovierte 1994 an der Universität Dortmund.