

Technische Tests des Sportgerätes T-BOW®



Inhaltsverzeichnis

<u>1</u>	<u>MANAGEMENT SUMMARY</u>	2
<u>1.1</u>	<u>DURCHFÜHRUNG VON TESTS AM T-BOW®</u>	2
<u>1.2</u>	<u>ERGEBNISSE DER MESSUNGEN</u>	2
<u>1.3</u>	<u>DYNAMISCHE BETRACHTUNGEN</u>	2
<u>2</u>	<u>EINLEITUNG</u>	3
<u>2.1</u>	<u>ENTSTEHUNG DES T-BOW®</u>	3
<u>2.2</u>	<u>EINSATZ DES T-BOW®</u>	3
<u>2.3</u>	<u>HANDHABUNG</u>	3
<u>2.4</u>	<u>HERSTELLVERFAHREN</u>	3
<u>3</u>	<u>BELASTUNGSARTEN</u>	4
<u>3.1</u>	<u>DYNAMISCHE BELASTUNGEN</u>	4
<u>3.2</u>	<u>STATICHE BELASTUNGEN</u>	4
<u>3.3</u>	<u>BELASTUNG IM NORMALEINSATZ</u>	5
<u>3.4</u>	<u>BELASTUNG IM WIPPEINSATZ</u>	6
<u>4</u>	<u>DURCHFÜHRUNG DER TESTS</u>	7
<u>4.1</u>	<u>TESTZIELE</u>	7
<u>4.2</u>	<u>TESTBEDINGUNGEN</u>	7
<u>4.3</u>	<u>MESSRESULTATE</u>	8
<u>4.4</u>	<u>INTERPRETATION DER MESSRESULTATE</u>	13

1 Management Summary

1.1 Durchführung von Tests am T-BOW®

Am 27. August 2006 wurden bei normalen atmosphärischen Bedingungen an der Universität Zürich unter Leitung von Dipl. Ing. ETH Peter E. Klauser Belastungstests durchgeführt.

Ziele dieser Tests waren:

- Ermittlung der maximalen Belastungs- / Bruchgrenzen
- Ermittlung der Veränderung der Grundform
- Ermittlung von bleibenden Formänderungen
- Ermittlung der Frage von Knickungen

1.2 Ergebnisse der Messungen

- Selbst unter extremer Belastung bleibt der T-BOW® intakt. Es tritt weder ein Bruch noch eine Einknickung auf.
- Der T-BOW® biegt sich durch wie eine Blattfeder. Bei extremer Belastung berühren die Stapelnocken den Untergrund.
- Wird der T-BOW® soweit belastet, dass er auf seiner gesamten Länge auf dem Untergrund aufliegt, entsteht eine bleibende Verformung. Diese Verformung bildet sich bis auf wenige cm zurück. Sie ist in der Praxis vernachlässigbar.

1.3 Dynamische Betrachtungen

- Durch eine vertikale Belastung auf der äussersten Kante kann ein leichtes Ankippen des T-BOW® ausgelöst werden. Die Wahrscheinlichkeit einer derartigen Kippbewegung ist sehr klein.
- Durch eine seitliche Belastung kann im Extremfalle eine geringe Rutschbewegung ausgelöst werden. Die Wahrscheinlichkeit hängt ab von der Beschaffenheit des Untergrundes, der Haftung der Gummifüsse sowie von Kraffteinleitungspunkt.

2 Einleitung

2.1 Entstehung des T-BOW®

Die Hochschulsportlehrerin, Physiotherapeutin und Dozentin Fitness ETH Zürich Sandra Bonacina hatte die Idee und entwickelte zusammen mit dem Hochschulsportlehrer Viktor Denoth den T-BOW®.

Das Ziel war, ein einfaches, unverwüstliches Sportgerät herzustellen, welches möglichst universell einsetzbar ist.

Das Ergebnis der Entwicklung ist eine 500mm breite Schale, welche einem Zylinderelement mit Radius 1'000mm und einem Winkel von $\pi/2$ (90°) entspricht.

2.2 Einsatz des T-BOW®

Aus sportlicher Sicht lässt sich der T-BOW® sehr mannigfaltig einsetzen:

- Steppergerät: Ausdauer
- Wippschaukel: Balance, Koordination und Ausdauer
- Rumpfkraftigung und allgemeine Muskelkraftigung
- Übungen mit Widerstandsbänder
- Dehnen und Entspannen

2.3 Handhabung

Der T-BOW® ist äusserst einfach in der Handhabung:

- keinerlei mechanische Teile
- stapelbar
- kleines Gewicht
- resistent gegen Laugen und Säuren
- schmutzabweisende Oberfläche

2.4 Herstellverfahren

Die ersten T-BOW® wurden aus Holz hergestellt. Dabei wurden einzelne Schichten miteinander verleimt und in einer grossen Presse in die endgültige Form gebracht.

Die benötigten Öffnungen für die Widerstandsbänder wurden nach dem Pressvorgang gefräst.

Die rutschfeste Matte auf der Aussenseite, die mit Sand versehene Folie auf der Innenseite sowie die Kunststofffüsse wurden als Letztes angebracht.

Diese Art der Herstellung ist äusserst aufwändig. Weil viele Arbeitsschritte manuell ausgeführt werden müssen bei dieser Produktionsvariante, wird das Produkt teuer. Diese Produktionsvariante eignet sich daher nicht für die Grossserie.

Die aktuell im Markt erhältlichen T-BOW® werden im Spritzgussverfahren hergestellt. Als Material wird für den Hohlkörper Polypropylen verwendet.

3 Belastungsarten

Der T-BOW® wird im normalen Einsatz durch Kräfte aus diversen Winkeln belastet. Die Einwirkungszeit diese Kräfte ist sehr unterschiedlich.

3.1 Dynamische Belastungen

3.1.1 Auftretende Kräfte

Wenn die trainierende Person auf den T-BOW® hüpfet, treten am Kontaktpunkt für eine sehr kurze Zeit hohe punktuelle Kräfte auf. Diese Kräfte können das eigene Körpergewicht wesentlich übersteigen.

Untersuchungen zeigen, dass Beschleunigungen von 4 bis 5 G auftreten können, wenn eine Person aus 50 cm Höhe auf den Boden springt.

Eine Belastung in dieser Höhe tritt beim T-BOW® nicht auf, weil die trainierende Person vom Boden auf den T-BOW® springt. Weil der T-BOW® eine Höhe von 14 cm aufweist, müsste die trainierende Person den Körperschwerpunkt durch Aufspringen um 64 cm anheben.

Eine solche Belastung könnte höchstens dann auftreten, wenn die trainierende Person den T-BOW® als Sprungbrett einsetzen möchte. Dafür ist der T-BOW® nicht geeignet. Es gibt auch keine Übungen zum T-BOW®, welche eine derartige Belastung hervorrufen.

Man darf deshalb davon ausgehen, dass in der Praxis Beschleunigungen von maximal 2 G auftreten.

3.1.2 Messungen

Es bieten sich zwei Möglichkeiten an, die Verformungen des T-BOW® während einer dynamischen Belastung ermitteln zu können:

- Belastung durch eine Testperson
- Aufbau einer Belastungsvorrichtung

Bei beiden Verfahren müsste die Verformung durch eine geeignete Messvorrichtung ermittelt werden. Dies könnten zum Beispiel mechanische Sensoren oder eine Hochgeschwindigkeitskamera sein.

Der Aufwand für eine dynamische Belastungsmessung ist erheblich, weshalb darauf verzichtet wurde, die Verformung des T-BOW® unter einer dynamischen Belastung zu ermitteln.

3.2 Statische Belastungen

3.2.1 Auftretende Kräfte

Wenn die trainierende Person den T-BOW® als Auflage verwendet, treten permanent grossflächige Kräfte auf. Diese Kräfte können das eigene Körpergewicht nur unwesentlich übersteigen.

3.2.2 Messungen

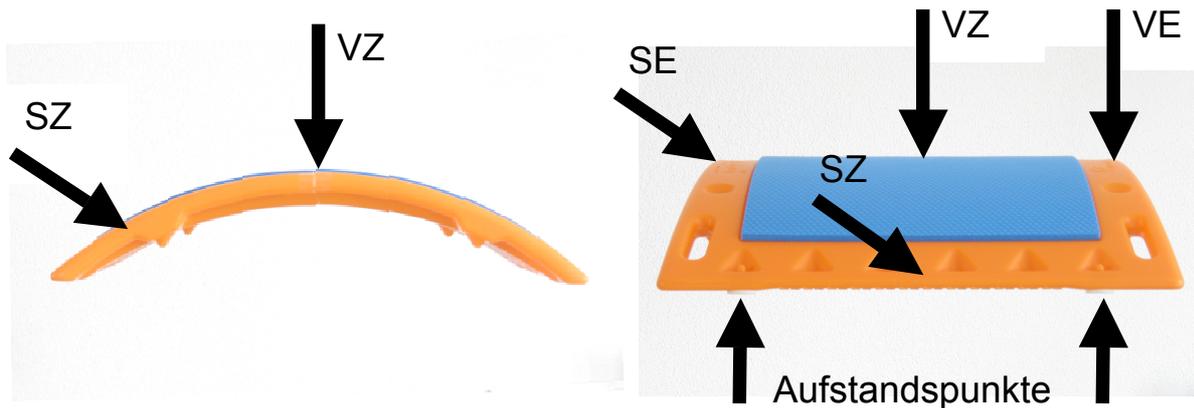
Die Messung der statischen Belastung ist relativ einfach. Durch Auflegen von Gewichten wird der T-BOW® verformt. Diese Verformung kann gemessen werden.

3.2.3 Erholung

Durch eine sehr hohe Belastung kann eine bleibende Verformung der T-BOW® entstehen. Es ist von grossem Interesse, bis zu welcher Belastung der T-BOW® verformt werden kann, ohne dass eine bleibende Verformung auftritt.

Bei der Messung der statischen Belastung wurde auch ermittelt, in welchem Zeitraum sich der T-BOW® erholt und das ursprüngliche Mass annimmt.

3.3 Belastung im Normaleinsatz



3.3.1 Vertikale Belastung zentrisch (VZ)

Wenn eine Kraft vertikal zentrisch auf den T-BOW® ausgeübt wird, biegt er sich durch.

Die Kraft VZ wird symmetrisch auf die 4 Gummifüsse übertragen.

Ein seitliches Wegrutschen kann nicht stattfinden.

3.3.2 Vertikale Belastung exzentrisch (VE)

Wenn eine Kraft vertikal exzentrisch auf den T-BOW® ausgeübt wird, biegt er sich durch.

Die Kraft VE wird symmetrisch auf die beiden Gummifüsse unterhalb VE übertragen. Die Gummifüsse der gegenüberliegenden Seite übernehmen keine Kräfte. Im Extremfall werden sie vollkommen entlastet.

Ein seitliches Wegrutschen kann nicht stattfinden.

Wenn der Einleitungspunkt der Kraft ausserhalb des Aufstandspunktes der Gummifüsse liegt (siehe Foto), kann der T-BOW® leicht kippen.

3.3.3 Seitliche Belastung zentrisch(SZ)

Wenn eine Kraft seitlich zentrisch auf den T-BOW® ausgeübt wird, biegt er sich unwesentlich durch.

Die Kraft SZ wird zur Hauptsache auf die 2 Gummifüsse unterhalb des Einleitungspunktes übertragen.

Ein seitliches Wegrutschen kann stattfinden.

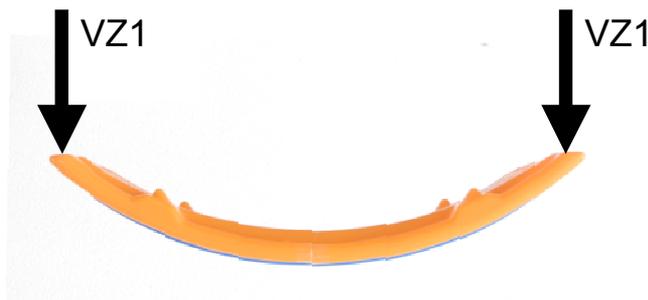
3.3.4 Seitliche Belastung exzentrisch (SE)

Wenn eine Kraft seitlich exzentrisch auf den T-BOW® ausgeübt wird, biegt er sich durch.

Die Kraft SE wird zur Hauptsache symmetrisch auf die beiden Gummifüße unterhalb SE übertragen. Die Gummifüße der gegenüberliegenden Seite übernehmen nur kleine Kräfte.

Ein seitliches Wegrutschen kann stattfinden.

3.4 Belastung im Wippeinsatz



3.4.1 Vertikale Belastung zentrisch (VZ1)

Diese Belastung ist unkritisch, weil die trainierende Person zuerst aufsteigen muss. Sie entspricht im Wesentlichen VZ.

Wenn eine Kraft vertikal zentrisch auf den T-BOW® ausgeübt wird, biegt er sich durch.

4 Durchführung der Tests

4.1 Testziele

Das Ziel der Tests war, Antworten zu erhalten auf folgende Fragen:

- Welches ist die maximal zulässige Belastung, bei welcher der T-BOW® bricht?
- Wie verändert sich die Grundform unter Belastung?
- Entstehen bleibende Verformungen?
- Knickt der T-BOW® unter extremer Belastung?

4.2 Testbedingungen

Die Tests wurden durchgeführt am 27. August 2006 in der Werkstatt der Universität Zürich Irchel.

4.2.1 Atmosphärische Bedingungen

- Raumtemperatur: 25°
- Luftdruck: 1045 hPa
- Relative Luftfeuchtigkeit: 62%

4.2.2 Messbedingungen

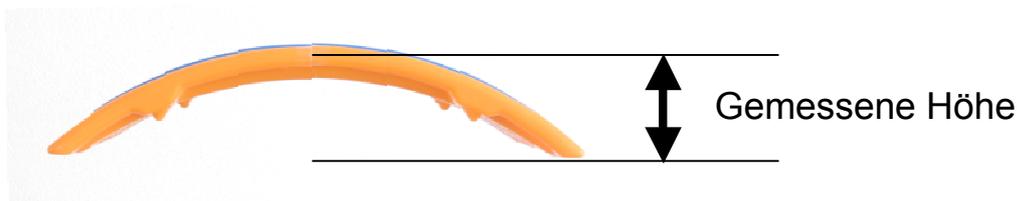
Die Messungen wurden an zufällig ausgewählten Exemplaren von T-BOW® der aktuellen Produktionsserie durchgeführt.

Es wurden Vergleichsmessungen mit T-BOW® aus einer früheren Produktionsserie sowie mit T-BOW® aus Holz durchgeführt.

Sämtliche Messungen wurden in absolut trockenem Zustand gemacht.

4.2.3 Messdurchführung

Die Belastungen erfolgten durch Auflegen von Gewichtssteinen.

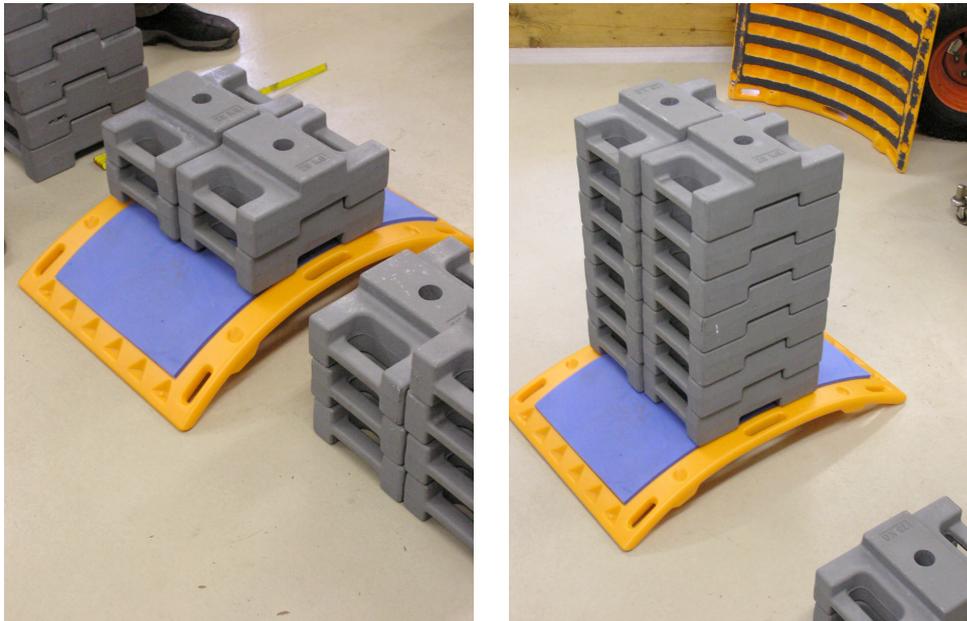


Die Belastungen erfolgten statisch.

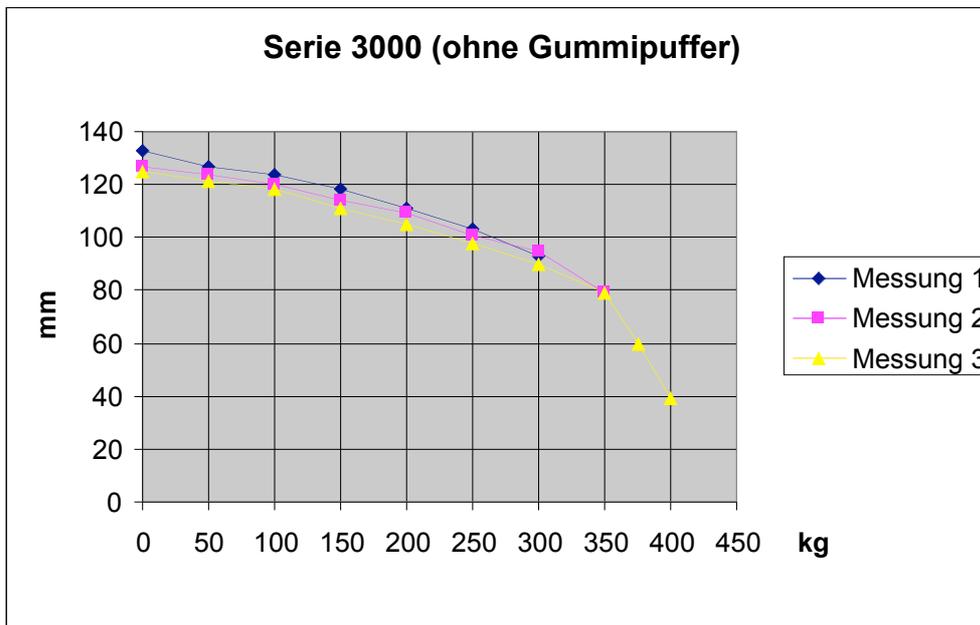
Es wurde die Höhe von der Aufstandsfläche (Betonboden) bis in die Mitte des T-BOW® Körpers gemessen. Die Mitte wurde durch eine Marke gekennzeichnet, sodass die Höhe immer zuverlässig ermittelt werden konnte.

4.3 Messresultate

Gemessen wurde die vertikale Verformung unter der Kraft VZ:

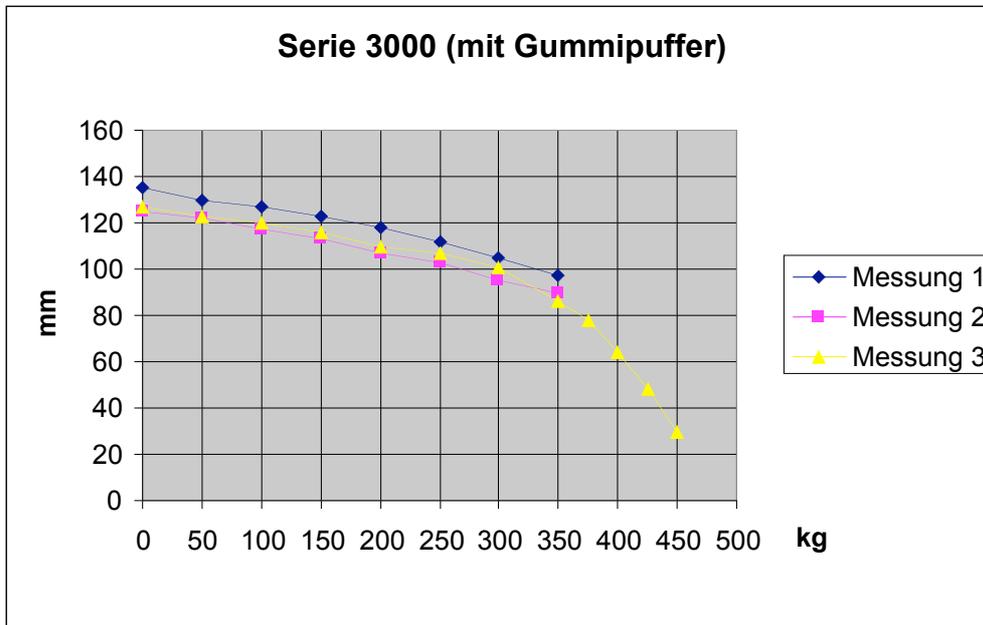


4.3.1 Serie 3000 (ohne Gummipuffer)



Belastung in kg	Messung 1	Messung 2	Messung 3
0	133 mm	127 mm	125 mm
50	127 mm	124 mm	121 mm
100	124 mm	120 mm	118 mm
150	118 mm	114 mm	111 mm
200	111 mm	109 mm	105 mm
250	103 mm	101 mm	98 mm
300	93 mm	95 mm	90 mm
350		79 mm	79 mm
375			60 mm
400			39 mm

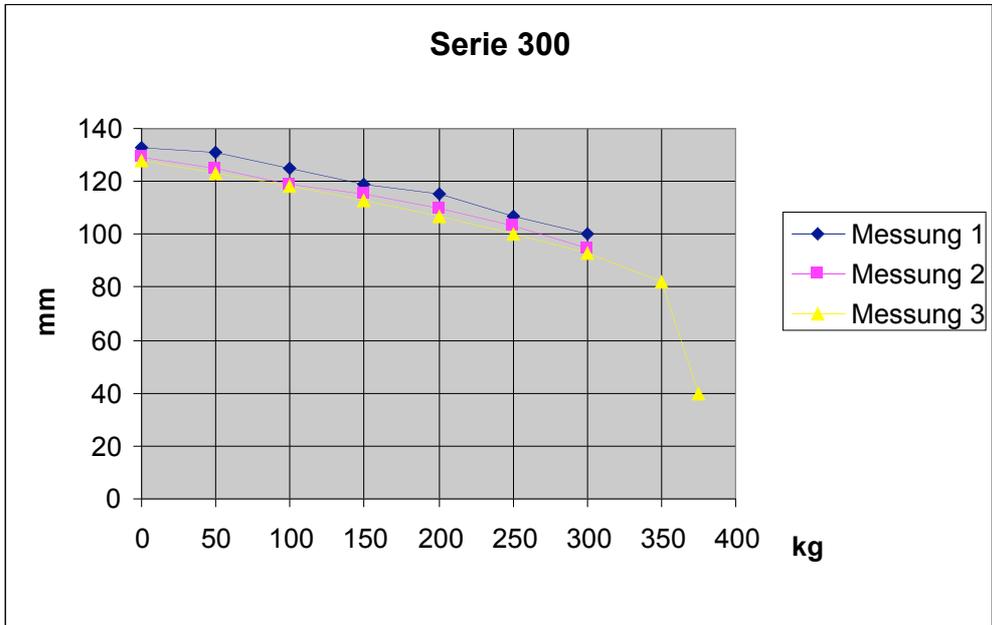
4.3.2 Serie 3000 (mit Gummipuffer)



Belastung in kg	Messung 1	Messung 2	Messung 3
0	135 mm	125 mm	127 mm
50	130 mm	122 mm	123 mm
100	127 mm	117 mm	120 mm
150	123 mm	113 mm	116 mm
200	118 mm	107 mm	110 mm
250	112 mm	103 mm	107 mm
300	105 mm	95 mm	101 mm
350	97 mm	90 mm	86 mm
375			78 mm
400			64 mm
425			48 mm
450			30 mm

Bleibende Verformung (2 Wochen nach Belastung): 3 mm

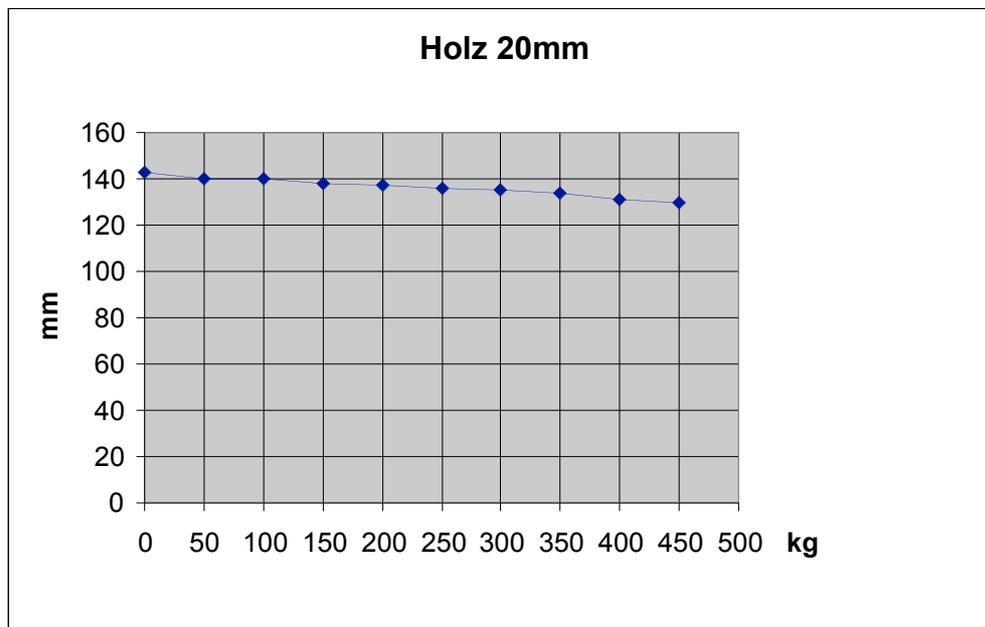
4.3.3 Serie 300 (mit Gummipuffer)



Belastung in kg	Messung 1	Messung 2	Messung 3
0	133 mm	129 mm	128 mm
50	131 mm	125 mm	123 mm
100	125 mm	119 mm	118 mm
150	119 mm	115 mm	113 mm
200	115 mm	110 mm	107 mm
250	107 mm	103 mm	100 mm
300	100 mm	95 mm	93 mm
350			82 mm
375			40 mm

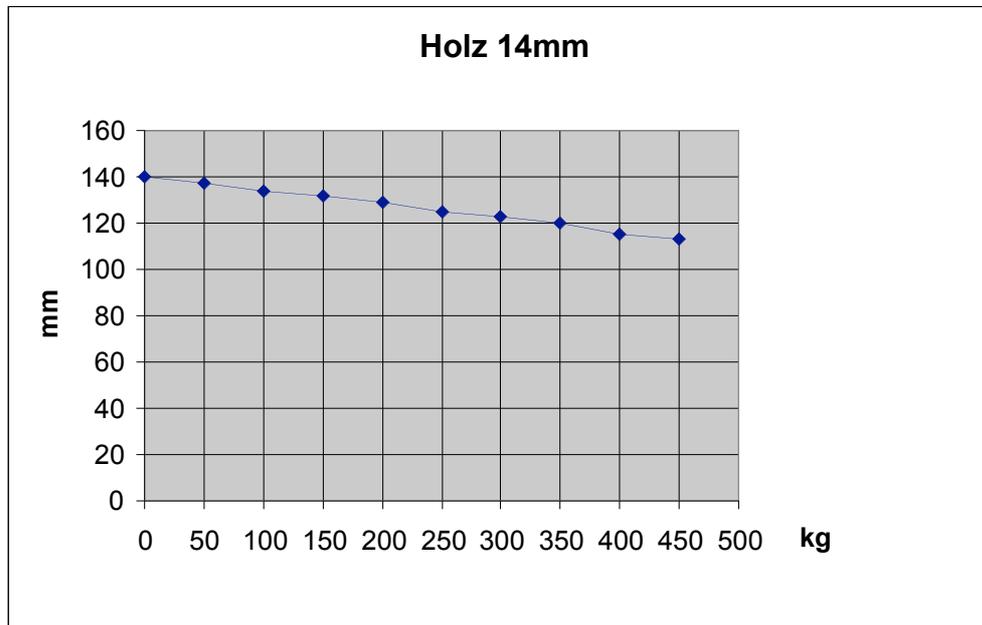
Bleibende Verformung (2 Wochen nach Belastung): 3 mm

4.3.4 Holz 20mm



Belastung in kg	Messung 1
0	143 mm
50	140 mm
100	140 mm
150	138 mm
200	137 mm
250	136 mm
300	135 mm
350	134 mm
400	131 mm
450	130 mm

4.3.5 Holz 14mm



Belastung in kg	Messung 1
0	140 mm
50	137 mm
100	134 mm
150	132 mm
200	129 mm
250	125 mm
300	123 mm
350	120 mm
400	115 mm
450	113 mm

4.4 Interpretation der Messresultate

4.4.1 Aussagen zu dem T-BOW® aus Kunststoff

- Der T-BOW® verhält sich wie eine Feder.
- Bis zu einer Belastung von 350 kg verläuft die Durchbiegung nahezu linear.
- Als Näherungsformel für die Durchbiegung (bis 350 kg) gilt:

$$y = -0.0001x^2 - 0.0525x + 134.13$$
$$R = 0.9978$$

- Ab 350 kg nimmt die Verformung sehr stark zu.
- Bei maximaler Belastung wird der T-BOW® soweit durchgebogen, dass er flach aufliegt. Die Stapelnocken (siehe Abbildung) berühren dabei die Unterlage.
- Der T-BOW® bricht nicht unter maximaler Belastung.
- Es tritt keinerlei Knickung auf. Die Grundstruktur bleibt unter jeder Belastung erhalten.
- Nach jeder Belastung bis an die Grenze von 350 kg bleibt eine kleine Verformung. In der Praxis ist diese Verformung vernachlässigbar.
- Der Einfluss der Gummipuffer ist vernachlässigbar.



4.4.2 Aussagen zu den T-BOW® aus Holz

- Der T-BOW® verhält sich wie eine Feder.
- Bis zu einer Belastung von 450 kg verläuft die Durchbiegung sowohl bei der Variante mit 20mm Dicke wie auch bei derjenigen mit 14mm Dicke nahezu linear.
- Es konnte nicht ermittelt werden, wie sich der T-BOW® aus Holz unter höherer Belastung verhält, weil nur bis zu einer statischen Maximallast von 450 kg gemessen wurde.

4.4.3 Generelle Aussagen

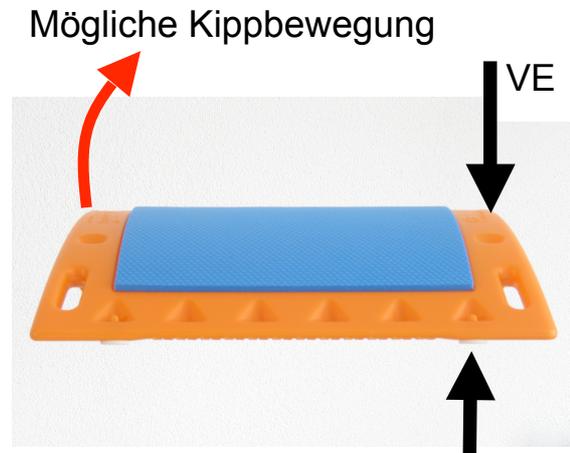
- Bei rein vertikaler Belastung des T-BOW® besteht keinerlei Verletzungsgefahr

4.5 Dynamische Betrachtungen

4.5.1 Kippen des T-BOW®

Weil der Aufstandspunkt der Gummifüsse weiter innen liegt als der äusserste Punkt, welcher eine vertikale Kraft (VE: vertikal, extern) einleiten kann, ist es möglich, dass der T-BOW® leicht nach oben ankippt. Setzt der Sportler seinen Fuss auf die äusserste Kante auf anstelle korrekterweise auf der Matte, ist es möglich, dass er durch das leichte ankippen des T-BOW® abrutschen und im schlimmsten Falle stürzen und sich verletzen kann.

Die Wahrscheinlichkeit eines Unfalles durch ein derartiges ankippen ist äusserst klein, weil die Kraft VE effektiv vertikal aufgebracht werden müsste. Ausserdem wird die Kippbewegung gestoppt, sobald die äussersten Ecken des T-BOW® auf dem Boden aufliegen.

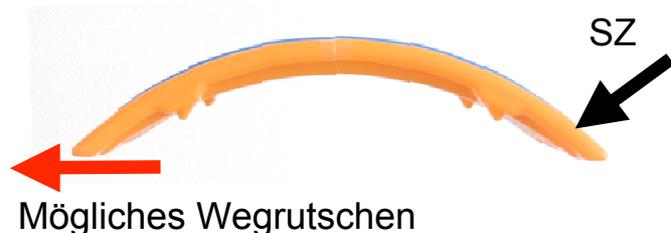


Massnahmen zur Optimierung des Kipp-Risikos:

- Versetzen der Gummipuffer nach aussen oder zusätzliche kleine Gummipuffer am äussersten Rand aufkleben
- Instruktion der Trainer: Fuss immer auf die Matte setzen
- Vermeiden von Übungen, welche die T-BOW® -Kante verwenden
- Unbedingt rutschfeste Turnschuhe verwenden

4.5.2 Rutschen des T-BOW®

Wenn der Sportler eine seitliche Kraft (SZ: seitlich, zentriert) aufbringt, ist ein seitliches Wegrutschen des T-BOW® bedingt möglich und kann im schlimmsten Fall den Sportler so zu Fall bringen. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein



T-BOW® auf diese Art wegrutscht hängt stark von der Beschaffenheit des Untergrundes, der Sauberkeit der Gummifüsse und korrekt vertieftes Sitzen der Schrauben ab. Ist der Boden, auf welchem der T-BOW® aufliegt durch Schweiß oder andere Flüssigkeiten benetzt, wurde der Boden mit einem ungeeigneten Reinigungsmittel geputzt, wurde die Seifenlauge ungenügend aufgeputzt, sind die Gummifüsse stark mit Staub verschmutzt oder die Schrauben vorstehend (ungenügend eingedreht), so ist ein Rutschen des T-BOW® möglich.

Massnahmen zur Optimierung des Rutsch-Risikos

- Instruktion der Trainer: Gummifüsse + Schrauben prüfen, regelmässig reinigen, Schrauben eindrehen. Abgenutzte Gummifüsse ersetzen
- Untergrund vor und während des Trainings kontrollieren
- Vorsicht mit Übungen, welche eine stark seitliche Krafteinleitung haben