

SOWAS Projekt: Tribok

Referenten: Vera Bracht, Lena Bäcker, Patrick Gawliczek,
 Mehmet Gündüz, Steven Eulig
 Teamleiter: Roman Stoll



Motivation

Von der Schlinge und dem Katapult über die Stabschlinge entstand der Tribok als erste Belagerungsmaschine, welche die Gravitation zu ihrem Vorteil ausnutzte. Die heute bekannte Form des Triboks entstand im Verlauf des 12. Jahrhunderts. Durchschnittlich wurden Projektilen von 50-100 kg bei einer Schussweite von um die 300m genutzt – in Einzelfällen sind bis zu 1500kg zum Einsatz gekommen. Dies ermöglichte es, über Burgmauern hinweg zu schießen oder sie sogar zum Einsturz zu bringen; die zuvor genutzten Belagerungsmaschinen wie das Katapult konnten eine solche Durchschlagskraft und Weite nicht erbringen und wurden somit durch den Tribok abgelöst. Allerdings benötigte die hohe Zerstörungskraft und Komplexität der Waffe auch speziell ausgebildete Fachmänner, welche den Aufbau des Triboks direkt auf dem Schlachtfeld koordinieren konnten – ansonsten hätte sich die Waffe selbst zerstören oder nicht korrekt schießen können. Die Erscheinung des Triboks stellte somit einen wichtigen Schritt in der Kriegsführung und dem allgemeinen Verständnis der Mechanik dar.

In unserem Projekt wollen wir selbst einen Tribok nachbauen und mit dessen Hilfe die Trajektorien eines Geschosses in Abhängigkeit verschiedener Parameter untersucht. Es sollen die Seillänge, und das belastende Gewicht variiert werden. Die Ergebnisse helfen, die grundlegende Mechanik unter realen Bedingungen besser zu verstehen und zu sehen, welchen Einfluss die Variablen auf die Schussweite einnehmen. Es können unerwartete Probleme diskutiert werden und herausgefunden werden, wie man die optimale Wurfweite erreicht.



Abbildung 1: Gruppenbild mit Tribok

Abschussvorgang

Nachdem der Tribok geladen wurde, wird das Bindeseil, welches den Gewichtskasten hält, losgelassen. Infolgedessen wird das Gegengewicht nach unten beschleunigt, was den Hebelarm in Rotation versetzt. Das Geschoss gleitet dann entlang der Führung nach außen und wird an dem gespannten Seil auf eine Kreisbahn gezwungen. Das Auslöseseil löst sich ab einem Winkel von 90° vom Haken und gibt das Geschoss frei. Dieses durchläuft nun einen schrägen Wurf.

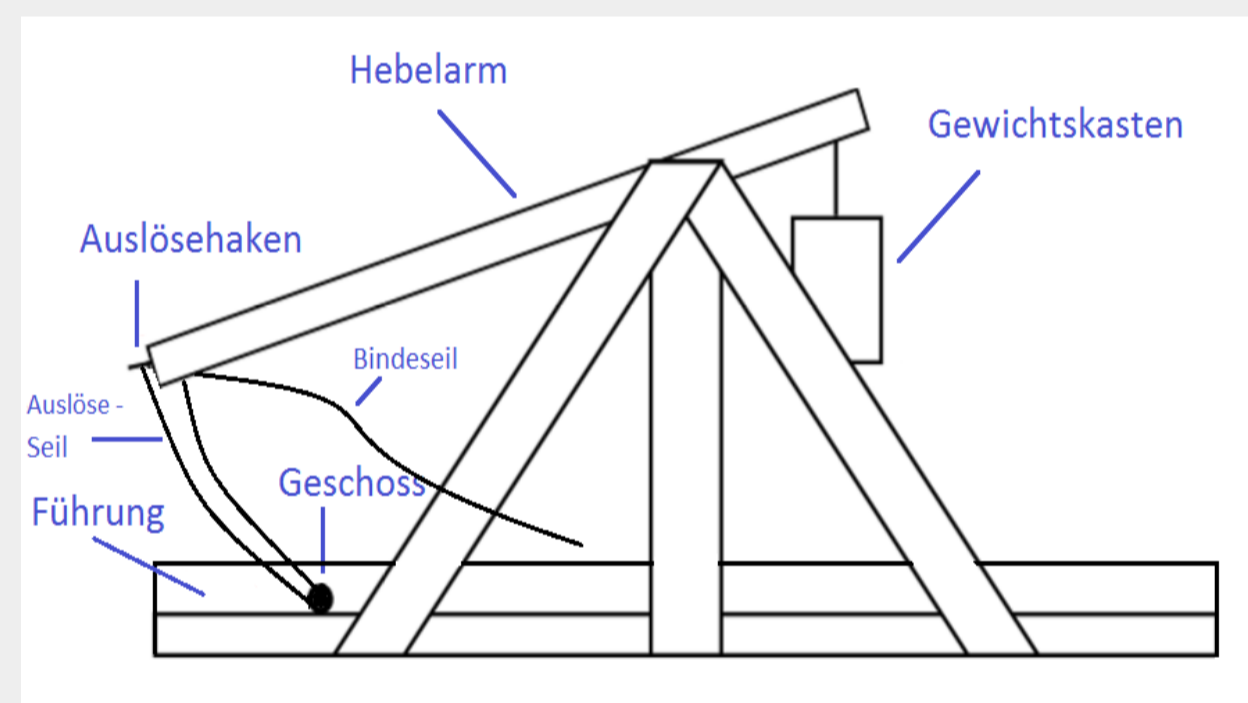


Abbildung 2: Skizze des Triboks mit Beschriftung



Abbildung 3: Der Tribok nach einem Abschuss

Analytische Betrachtung

Bei dem Versuch, die Bewegung des Triboks analytisch zu lösen, trifft man sehr schnell auf folgendes Problem: Das System des sich drehenden Triboks hat mit dem Drehwinkel des Hebelarms und dem Winkel des Seils relativ zum Hebelarm zwei Freiheitsgrade. Leitet man zu diesen beiden Koordinaten die Bewegungsgleichungen her (z.B. mit Lagrange- oder Hamilton-Mechanik), dann führt das unweigerlich zu analytisch nicht in geschlossener Form lösbarer Bewegungsintegralen. In der Regel bewegt sich das Seil mit dem Projektil im Abschusspunkt mit einer höheren Winkelgeschwindigkeit als der Holzbalken. Wir nehmen in unserem Rechenmodell allerdings an, dass das Seil in einer Linie mit dem Holzbalken gespannt seine Drehung durchführt. Zunächst einmal setzen wir für die Trajektorie den schrägen Wurf ohne Reibung an und erhalten folgende Formel für die Schussweite w:

$$w(h_0, v_0, \alpha) = \frac{v_0^2 \cdot \sin(2\alpha)}{2g} + \sqrt{\frac{v_0^4 \cdot \sin^2(2\alpha)}{4g^2} + \frac{2v_0^2 \cdot h_0 \cdot \cos^2(\alpha)}{g}}$$

Den Abschusswinkel α bestimmen wir nachher durch eine Videoaufzeichnung. Für die Abschussgeschwindigkeit v verwenden wir das Modell eines starren rotierenden Körpers mit Trägheitsmoment J . Zur Berechnung des Trägheitsmoments haben wir das Projektil und den Massebehälter als Punktmassen angenommen, den Hebelarm dagegen als starren Quader. Zudem nehmen wir an, dass die Differenz der potentiellen Energie des Gewichtskastens beim Ausschwingen komplett in Rotationsenergie umgewandelt wird. Somit erhalten wir den Drehimpuls beim Abschuss:

$$\Delta E_{pot} = E_{rot} \implies L = \sqrt{2MgJ\Delta h}$$

wobei Δh die Höhendifferenz des Massekorbs, M seine Masse und g die Gravitationskonstante ist. Wenn r der Abstand des Projektils zur Drehachse ist, dann errechnet sich die Abschussgeschwindigkeit zu:

$$v_0 = \frac{r \cdot L}{J} = r \cdot \sqrt{\frac{2M\Delta h}{J}}$$

Versuchsdurchführung

Bau des Triboks:

Ganz am Anfang stand die Frage: Soll der Tribok so geschichtstreu wie möglich fast nur mit Holz gebaut werden, oder sollte etwas mehr Metall zur Stabilität benutzt werden? Unsere erste Planskizze enthielt bereits etwas Metall, wie z.B. Winkel und Wellen für die Aufhängung. Im Verlaufe der Zeit jedoch kam noch ein Kugellager hinzu, und während des Aufbaus selbst wurden noch einige Metallplatten verwendet. Im Gegensatz zur Planung benötigte der Aufbau selbst nur wenige Tage, wobei jeweils in kleinen Teams abwechselnd gearbeitet wurde.

Aufnahme der Messreihen:

Zur Messung konnten wir den Kunstrasenplatz der RUB nutzen. Als Projektil wählten wir einen Baseball (150 Gramm); das Gegengewicht bestand aus einzelnen ausgemessenen Handtelscheiben und Ziegelsteinen, die im Gewichtskasten platziert wurden. Die Messung lief folgendermaßen ab: Zunächst platzierten wir den Tribok genau an den Rand einer der Spielfeldlinien. Pro veränderten Parameter führten wir anschließend fünf Schüsse durch. Dafür zog eine Person das Gegengewicht mithilfe eines Seils nach unten, während jemand anderes das Projektil platzierte. Zwei weitere Personen bestimmten den Auftreffpunkt des Projektils, welcher aufgrund der Sandaufwirbelung sehr gut zu erkennen war. Für die Messung der Entfernung stand uns anschließend ein Lasermessgerät zur Verfügung. Als Ziel für den Laser nutzten wir eine straff gezogene Fahne. Die erzielte Entfernung wurde nach jedem Abschuss notiert. Neben der Wurfweite nahmen wir auch jeweils ein Video des Schusses auf, um später den Abschusswinkel an einem PC nachvollziehen zu können.

Ergebnisse

Wir erreichten eine maximale Schussweite von 37,7m bei einem Gegengewicht von ca. 35 kg zusätzlich zum Eigengewicht des Korbes und einer Seillänge von 1,25 m. Insgesamt stellten wir fest, dass die Schussweite in etwa linear mit dem Gegengewicht korreliert (Abb. 4). Zur Maximierung der Schussweite benötigt jede Gegenmasse eine spezifische Seillänge (Abb. 5). Bei höherer Gegenmasse liefert ein längeres Seil das Maximum – für geringe Massen brauchten wir sogar nur eine Länge von unter 1m. Der optimale Abschusswinkel liegt bei etwa 30° (Abb. 6). Dadurch, dass wir eine Abschusshöhe größer als Null sowie endliche Luftreibung haben ist ein flacherer Winkel als 45° nötig. Die Formel aus der analytischen Betrachtung liefert für die meisten Schüsse allerdings nur zwischen einem Drittel und der Hälfte des tatsächlich gemessenen Wertes.

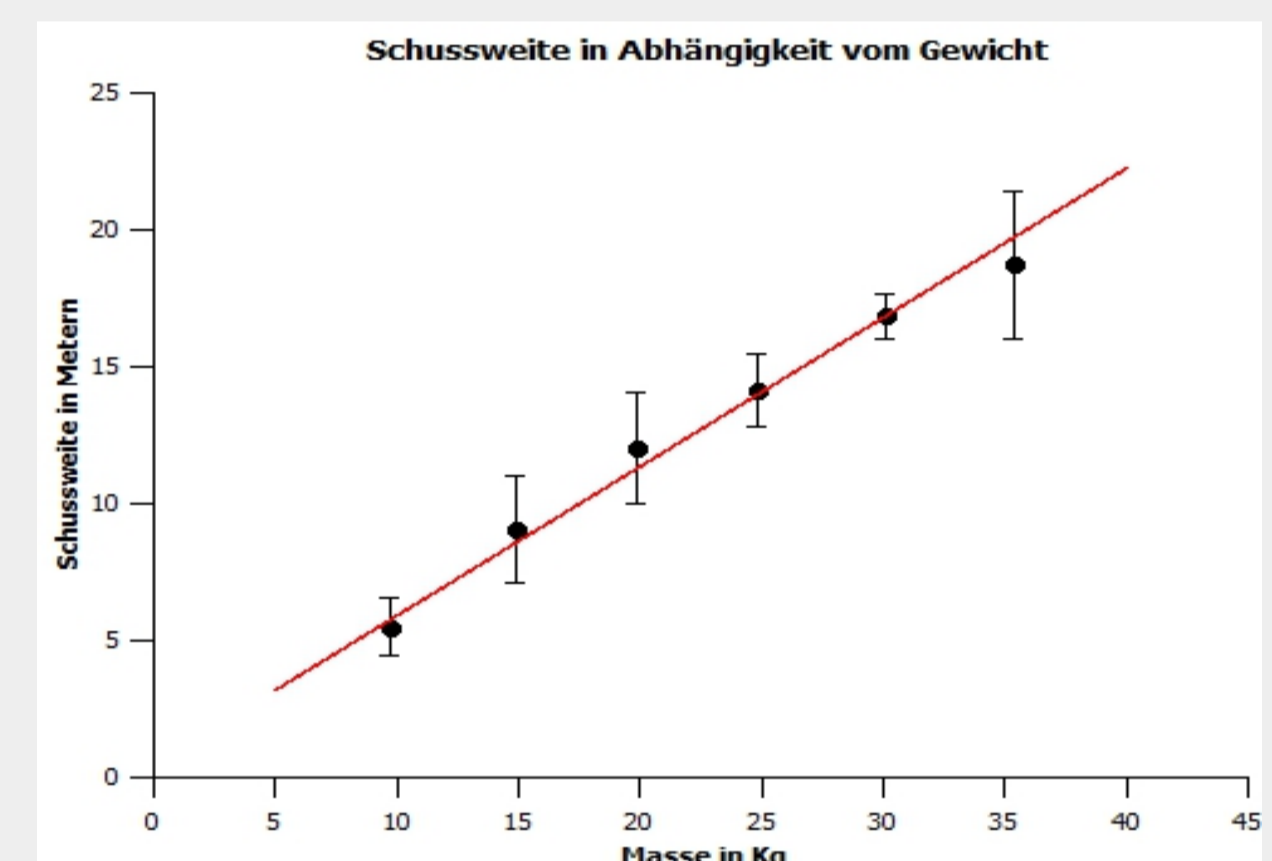


Abbildung 4: Schussweite in Abhängigkeit der Masse bei 70 Zentimetern Seillänge

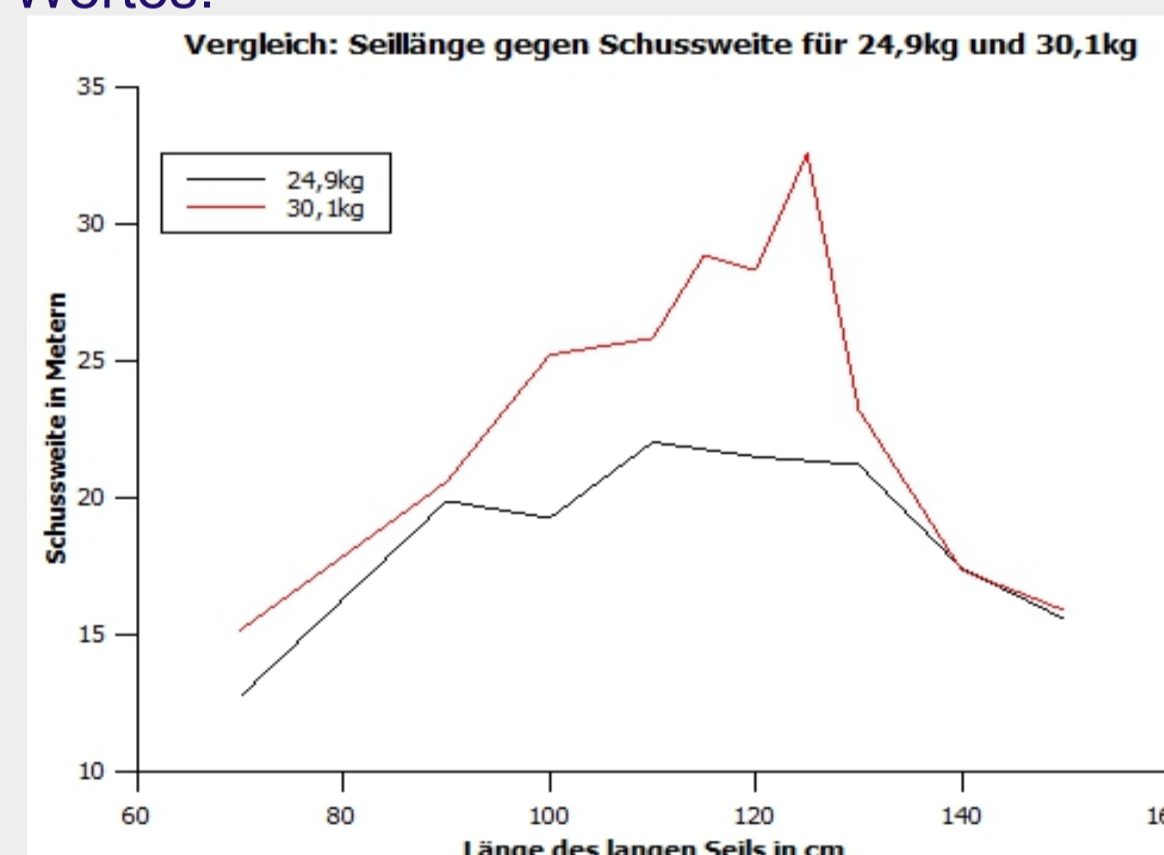


Abbildung 5: Schussweite in Abhängigkeit der Seillänge

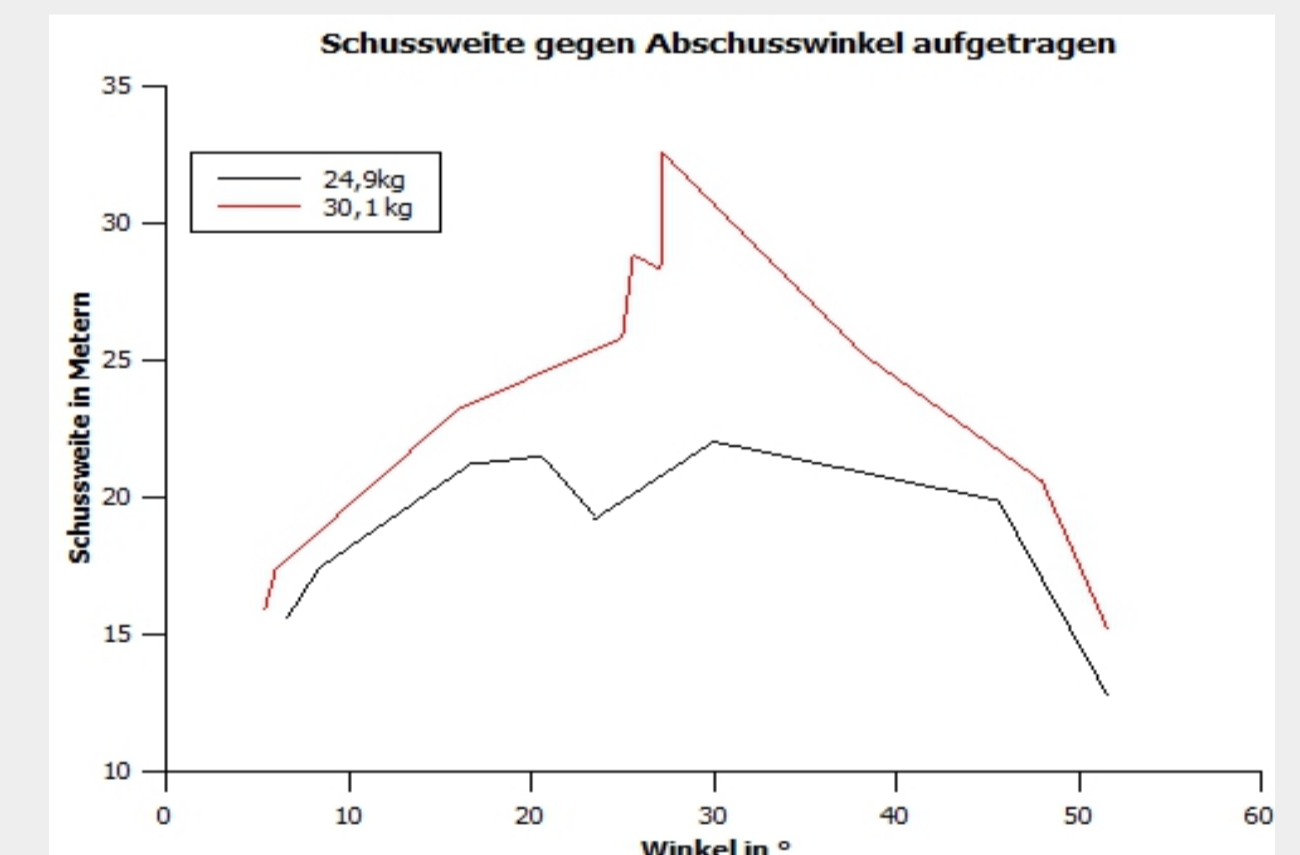


Abbildung 6: Schussweite in Abhängigkeit des Winkels

Diskussion der Ergebnisse

Es ist sehr erfreulich, dass wir einen gut funktionierenden Tribok bauen konnten. Leider wichen die errechneten Werte stark von den gemessenen ab – unser mathematisches Modell ist viel zu stark vereinfacht. Wie auf den Videos zu sehen ist, rotiert das Seil mit einer viel größeren Winkelgeschwindigkeit als der Hebelarm, was entgegen unserer Rechenannahme steht. Weiterhin wurde die Reibung der Luft und der Materialien nicht berücksichtigt. Dass die Schussweite von der Gegenmasse und der Seillänge abhängt konnten wir bestätigen. Allerdings ist das Finden der optimalen Wurfweite dadurch erschwert, dass bei Änderung der Gegenmasse auch die Länge des Seils angepasst werden muss und wir zusätzlich keinen Mechanismus (abgesehen von der Seillänge) haben, um den Abschusswinkel anzupassen. Dieser ist jedoch auch maßgeblich für die Wurfweite. Weiterhin konnten wir feststellen, dass bei gleichbleibender Konfiguration des Triboks die Messwerte in einem Bereich von wenigen Metern verteilt sind, was wir für eine solche Konstruktion als relativ zuverlässig einschätzen. Mögliche Fehlerquellen liegen in der Gewichtsverteilung im Kasten, da die Gewichte nicht starr fixiert waren, das Wurfgeschoss zu variabel im Beutel lag und die Seile sich stark verdrillten. Als Ausblick empfiehlt es sich, die Abwurfvorrichtung zu optimieren und einen festeren Projektilbeutel zu nutzen. Zur genaueren mathematischen Beschreibung des Triboks benötigt man eine kompliziertere theoretische Erarbeitung und eine Computersimulation.



Quellen:

Bild: <http://static.xs-software.com/help/khanwars/Trebuchet.png>,
 Geschichtlicher Hintergrund: <http://www.historynet.com/weaponry-the-trebuchet.htm>
 Abbildung 1: A. Hohelücher