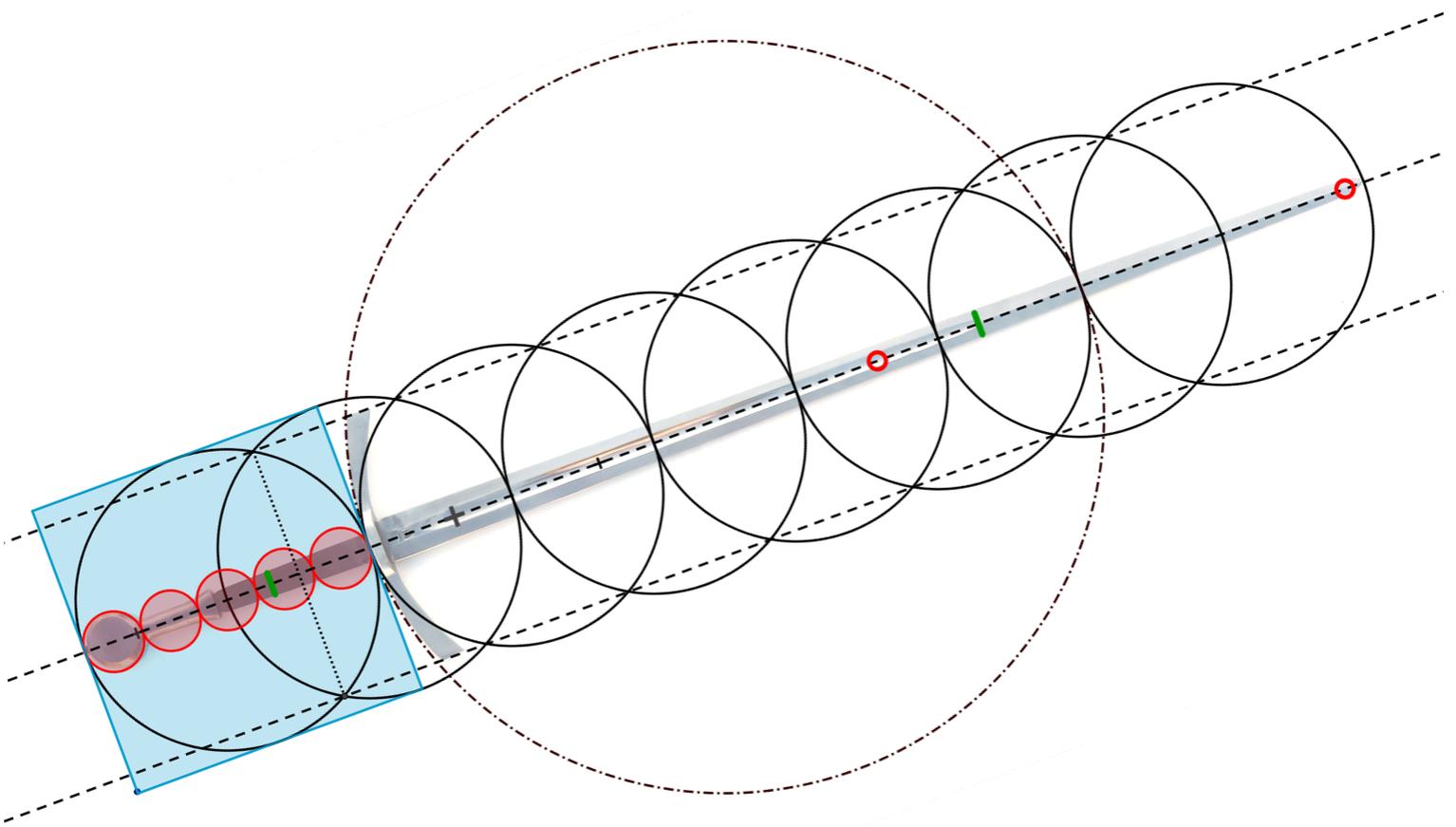


Hausarbeit

Die Geometrie des Langschwertes im fechterischen Kontext



Bernd Lappé
April 2015

Inhaltsverzeichnis

1	Motivation	2
2	Schwertbalance	3
2.1	Die Länge	4
2.2	Die Klinge	5
2.2.1	Die Masseverteilung	5
2.2.2	Querschnittsformen & Hohlkehle	7
2.3	Die Parierstange	10
2.4	Der Knauf	11
2.4.1	Schwerpunkt	12
2.4.2	Schwingungsknoten	13
2.4.3	Drehpunkte	14
3	Ein mathematisches Modell	16
3.1	Vermessung & Schwerpunkt	17
3.2	Schwingungsknoten	18
3.3	Drehpunkte	21
3.4	Resultate	24
4	Proportionen & Design	25
4.1	Arithmetik	25
4.2	Proportionen eines Schwerts	26
4.3	Anwendung	29
5	Schlusswort	31
	Quellenverzeichnis	32

1 Motivation

Im Mai des Jahres 2013, demselben Zeitraum, in dem ich Krifon beirat und mich fortan ernsthaft und regelmäßig mit dem Fechten befasste, besuchte ich zum ersten mal die Messermachermesse in Solingen. In besagtem Jahr hielt dort der schwedische Schwertschmied Peter Johnsson einen Vortrag, welcher der Hauptgrund für meinen Besuch war.

Den Namen hatte ich schon gehört. Peter Johnsson ist u.a. Designer der Schwerter der amerikanischen Firma Albion und hat für die Schwertausstellung im Deutschen Klingemuseum Solingen Exponate und Bilder zur Herstellung eines Schwerts beigesteuert. Seit einigen Jahren beschäftigt er sich intensiv mit der Geometrie des Schwerts, insbesondere mit dessen Proportionen. Er fragt sich, inwieweit das Schwert ein Designerstück ist, das funktionale Aspekte mit ästhetischen und symbolischen Eigenschaften vereint.

Dies war auch Thema seines Vortrags, der mich sehr faszinierte. Seither betrachte ich Schwerter mit anderen Augen. Ich erkenne die Schönheit dieser Objekte in ihren Proportionen, habe Spaß daran, selbst ihre geometrischen Geheimnisse zu entdecken. Das führte unter anderem dazu, dass ich als Mathematiklehrer 2014 im Projektunterricht mit Schülern der 8. Klasse Schwertproportionen analysierte und in Form von Holzschwertern nachbauen ließ.

Schönheit als Kriterium der Güte eines Schwerts? Ja! Ich glaube, dass ein gut ausbalanciertes und wohlproportioniertes Schwert ästhetisch ansprechend aussieht, während ein hässliches Schwert – sofern es das gibt – sich auch schlecht führen lässt. Oder warum sonst vermag man beim Schwerthändler auf einem Mittelaltermarkt oft auf den ersten Blick zu erkennen, welches Schwert man gar nicht erst in die Hand zu nehmen braucht und welches zu testen sich lohnen könnte?!

Als Mathematiker hinterfrage ich bei diesen geometrischen Studien durchaus kritisch, inwieweit solche Muster einem Schwert im Nachhinein angedichtet oder vielleicht vom Schwertschmied von vornherein beabsichtigt waren. Oft kann man Zusammenhänge finden, wenn man nur lange genug danach sucht. Hier gilt es zu differenzieren.

Als historischer Fechter möchte ich zudem ergänzen, dass gewisse Proportionen bei einem Schwert überhaupt keinen Sinn ergäben. Ein Schwert kann nicht ohne Rücksicht auf Aspekte der Fechttechnik – oder besser gesagt ohne Interaktion mit dieser – am Reißbrett konstruiert werden. Die Vielzahl an historisch belegbaren Schwertern zeigt jedoch, dass offensichtlich ein gewisser Spielraum existiert, in dem die Designfrage gestellt werden darf.

Mit dieser Hausarbeit möchte ich das Thema der Schwertgeometrie beleuchten. Vieles basiert auf der Arbeit Peter Johnssons, wobei ich seine Ideen nicht einfach nur wiedergebe, sondern stets durch eigene Überlegungen, Skizzen und mathematische Modelle ergänze und in eigenen Worten verständlich zu machen versuche.

Ich beginne damit, die Bedeutung der Bestandteile Klinge, Parierstange und Knauf für das Fechten und die Schwertbalance und die hierfür relevanten Parameter zu erläutern. Dann fahre ich fort mit dem Erstellen eines eigenen aufwändigen mathematischen Modells zu besagten Parametern am Beispiel eines meiner Schwerter. Schließlich erläutere ich Peter Johnssons Ansatz zur Proportionslehre am Schwert.

Ich glaube, dass diese Themenbereiche das Verständnis für das Schwert verändern können. Ihre Kenntnis macht einen nicht zum besseren Fechter, aber öffnet den Horizont das Schwert so zu sehen, wie es – möglicherweise – die Schwertschmiede vor 500 Jahren getan haben mögen. Kann ein Schmied Mathematik schöner versinnbildlichen, als in Form einer wohlgeformten und gut ausbalancierten Klinge?!

2 Schwertbalance

Auf die Frage, zu welchem der folgenden Schwerter (bzw. den realen Pendants zu diesen Skizzen) man angesichts eines bevorstehenden Gefechts greifen würde, wird jeder historische Langschwertfechter das untere wählen – obgleich es sicher interessant wäre, das obere mal in Händen zu halten. Aber warum tut man das obere sofort als *schlecht* ab? Was genau ist so schlimm an diesem Schwert?

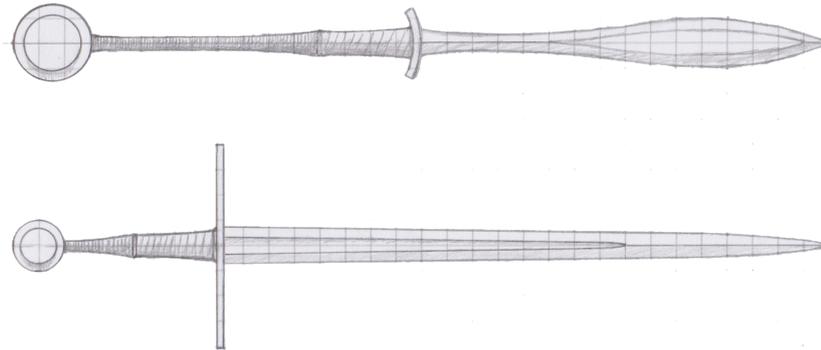


Abbildung 1: „Unschwert“ und wohlproportioniertes Langschwert

Zugegeben: Am oberen Schwert habe ich mit Absicht so ziemlich alles verändert, was von Relevanz ist: Obwohl es die gleiche Länge wie das untere Schwert besitzt, ist die Klinge viel zu kurz und der Griff zu lang, wodurch die Parierstange zu weit vorne sitzt. Diese ist zudem viel zu klein und hat eine dämlich nach hinten gebogene Form. Die Klinge ist offensichtlich zu vorderlastig, der Knauf viel zu schwer! Da kann man auch gleich eine langstielige Axt nehmen: Mit einem Gegengewicht am unteren Ende dürfte diese sich ähnlich fühlen lassen, wie dieses „Unschwert“.

Immerhin: Der Schwerpunkt dürfte einigermaßen mittig liegen! Für viele Kaufinteressenten eines Schwerts ist der Schwerpunkt mit das erste, was sie testen, sobald sie ein Schwert am Stand des Händlers in Händen halten.

Zwar ist die Position des Schwerpunktes nicht unwichtig, aber meines Erachtens, wie obiges Beispiel auch schön zeigt, als primäres Gütekriterium überbewertet – im Gegensatz zu anderen Parametern, die letztlich dafür verantwortlich sind, dass ein Schwert gut in Händen liegt und sich angenehm führen lässt – oder auch nicht.

Auf diese Parameter, sowie allgemein die Frage, was für den Fechter ein *gutes* Schwert ausmacht oder ausmachen kann, möchte ich in diesem Abschnitt eingehen.

Vorneweg: *Eine* Antwort auf die Frage, was ein gutes Schwert ist, werde ich am Ende dieser Hausarbeit nicht geben können. Schließlich bevorzugt auch fast jeder Fechter ein anderes Schwert, so wie auch historische Funde schon eine Vielzahl verwendeter Schwerttypen belegen (vgl. Abb. S. 4, unten).

Dennoch ist es absolut möglich, gewisse Rahmenrichtlinien aufzuzeigen, innerhalb sich derer ein Schwert bewegen sollte. Diese stehen mit der Schwertphysik, aber auch mit der Fechtkunst an sich in Interaktion, und zwar in beide Richtungen: Die Art, wie gefochten werden soll, bestimmt das Aussehen der Waffe. Und umgekehrt ermöglicht eine Waffe eine bestimmte Fechtweise.

Sogar die Frage nach Design darf gestellt werden: Folgt das Aussehen des Schwerter allein seiner Funktion, oder gilt es auch künstlerische Aspekte zu beachten?

2.1 Die Länge

Den heute gebräuchlichen Namen *Anderthalbhänder* trägt das Langschwert nicht, wie man zuweilen hört, weil man es wahlweise mit einer oder zwei Händen führte, sondern um es von noch längeren Zweihändern, insbes. aus dem 16. und 17. Jhd., auch *Gassenhauer* oder ebenfalls *Bidenhänder* genannt, abzugrenzen. Das Langschwert war zugleich Angriffs- und Schutzwaffe und für zweihändige Techniken ausgelegt. Entsprechend lang musste der Griffbereich sein:

„Die Waffe, um die es sich hier handelt, ist der sogenannte Bidenhänder, der seinen Namen daher führt, weil er mit beiden Händen gefaßt wird. Er reicht aufrechtgestellt etwa bis zur Achsel. Der Griff ist lang genug, um beiden Händen Raum zu geben“ ([ADF], S.IV, Z.17ff.)¹.

Mit der Achsel ist auch die Gesamtlänge der Waffe hinreichend beschrieben. Eine absolute Angabe in Längeneinheiten (z.B. 1,30m) ist nicht sinnvoll, da hierbei die Körpergröße des Fechters nicht beachtet würde. Auch seine Statur, seine Fechtweise oder anders begründete Vorlieben für eine kürzere oder längere Waffe, machen eine solche absolute Angabe kontraproduktiv.

Das gleiche gilt für die genaue Breite der Parierstange, die Art des Querschnitts, die Form des Knaufs, usw... all dies hängt von der Entwicklung der Waffe, der sich wandelnden Fechttechnik, oder vielleicht auch Modetrends ab. Daher werde ich nicht *das* geometrisch perfekte Langschwert aufzeigen können, sondern verschiedene² Klingen, Parierstangen und Knäufe im Wechselspiel mit ihrer Bedeutung für das Fechten betrachten.

Was man sagen kann ist, dass die Ausmaße des Schwertes sich in einem gewissen Rahmen bewegen müssen, um damit sinnvoll fechten zu können: Ein zu kurzes Schwert erlaubt weder das Benutzen einer zweiten Hand, noch kann selbst der flinkste Kämpfer seinen Gegner ernsthaft bedrohen. Eine überdimensionierte Waffe hingegen verbietet durch ihre Trägheit von selbst zahlreiche Techniken. Je nachdem, ob man eher technisches oder/und kraftbetontes Fechten präferiert, muss man den für sich besten Kompromiss zwischen verschiedenen Parametern finden.

Viel wichtiger als die absoluten Maße des Langschwertes ist aus physikalischer Sicht deshalb seine Proportionierung. Denn diese – zusammen mit den dadurch verbundenen Eigenschaften des Schwertes – erlaubt es, sich über die Balance der Waffe Gedanken zu machen.

Ein wohlproportioniertes Schwert kann leicht in unterschiedlichen Größen herstellen, wobei man nicht einfach nur die Klinge verlängert oder verkürzt, sondern *alle* Maße entsprechend skaliert.

¹Während meiner Quellenanalyse zu *Albrecht Dürers Fechtbuch* stieß ich auf diese Beschreibung des Langschwertes durch den Kunsthistoriker Friedrich Dörnhöffer.

²Die Oakeshott-Klassifikation (nach Ewart Oakeshott, 1964) belegt, dass es auch in Mittelalter und Renaissance Langschwerter in verschiedenen Varianten gab. Typ XIIIa, eine auf den Schnitt ausgelegte Waffe aus dem 13. und 14. Jahrhundert, oder Typ xva, ein Stoßschwert, das bis ins frühe 16. Jhd. benutzt wurde, um nur zwei Beispiele zu nennen. Und das sind nur die groben Grundtypen, in der die zahlreichen Spielarten und Hybriden dieser Waffenklassen, die es gegeben hat oder gegeben haben mag, nicht aufgelistet sind.

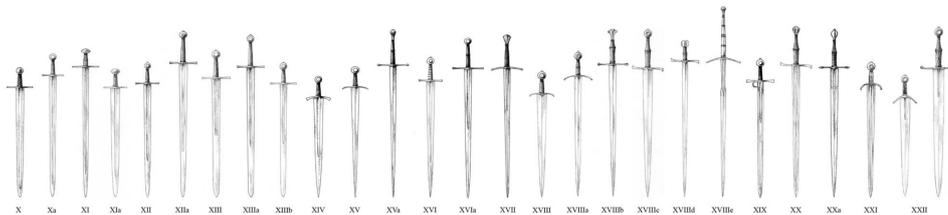


Illustration zur Oakeshott-Klassifikation von Peter Johnsson (Quelle: [A])

2.2 Die Klinge

Was man umgangssprachlich – und völlig legitim – bei einem Schwert oder einem Messer als *Klinge* bezeichnet, ist genau genommen das *Blatt*, der Teil vom Ort bis zur Parierstange. Dahinter, und beim fertigen Schwert nicht mehr sichtbar, befindet sich die Angel. Diese ist ein schlanker sich verjüngend geschmiedeter Klingenteil, welche aus Gründen der Stabilität durch den gesamten Griff und den Knauf hindurch geht. Das Schmieden der Klinge, d.h. Blatt und Angel, bestimmt maßgeblich die Eigenschaften des Schwertes.

Da wären zum einen metallurgischen Fragen wie die Auswahl des Materials. Wählt man kohlenstoffarmes Metall, entsteht eine wunderbar biegsame, aber leider auch weiche und somit scharfananfällige Klinge. Bei Metall mit einem extrem hohen Kohlenstoffgehalt wird die Klinge sehr hart, aber auch spröde. Solche Gegensätze kann ein Schwertschmied vereinen, indem er der Klinge einen weichen Eisenkern gibt, die mit zwei Schichten harten Stahls ummantelt wird, was – die richtige Wärmebehandlung vorausgesetzt – zu einer einigermaßen flexiblen Klinge mit harten Schneiden führt³.

Zum anderen ist die Form der Klinge entscheidend. Hierbei kommt auf die Masseverteilung in Längsrichtung und auf die Querschnittsformen der Klinge an. Bei letzterem spielt die Hohlkehle eine zentrale Rolle.

2.2.1 Die Masseverteilung

Wie viel Masse braucht man überhaupt? Die Frage ist gleichermaßen einfach zu beantworten, wie es schwierig ist, hier praktisch ein Optimum zu finden: So wenig wie möglich, aber so viel wie nötig. Kein Schmied würde die Klinge dicker oder breiter machen, als notwendig, denn jedes zusätzliche Gramm macht die Klinge schwerer und träger. Andererseits darf es auch nicht zu wenig sein: Bruchgefahr und zu wenig Wucht im Hieb wären die Folge. Stabilität und Leichtigkeit – Gegensätze, die der Schmied vereinen, oder wo er Kompromisse schließen muss.

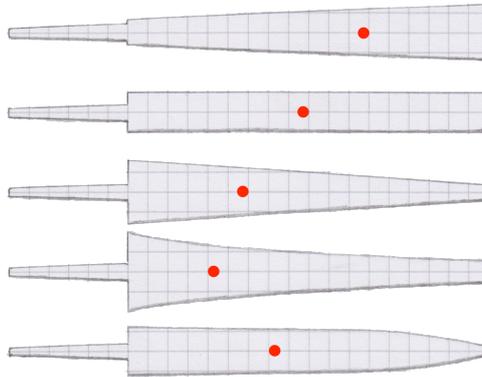


Abbildung 2: Stilisierte Darstellung für fünf Beispiele unterschiedlicher Verteilungen der selben Masse über die gleiche Klinglänge mit Schwerpunkt (rot).

Ausgehend von einer bestimmten Gesamtmasse gibt es nun zahlreiche Varianten, diese über eine gewünschte Länge zu verteilen (vgl. Abb. 2). Wohlbermerkt ist hier noch nicht davon die Rede, wie breit das Schwert einmal an einer bestimmten Stelle sein wird oder welchen Querschnitt es haben wird – wobei der Schwertschmied

³Damaststahl, in welchem mehrere Schichten aus weichem und hartem Metall wie Blätterteig immer wieder gefaltet werden, treibt dieses Prinzip auf die Spitze. Vielleicht hätte man das Schwert auch nur aus einem harten, aber nicht zu harten Stahl schmieden können. Für die Einarbeitung eines Eisenkerns spricht, dass Eisen rund zehnmal billiger als Stahl war (vgl.[DKS]).

natürlich weiß, worauf es hinauslaufen wird – doch für den Moment kann man sich vorstellen, alle Querschnitte wären rechteckig oder sogar kreisrund.

Zum Beispiel kann man die Masse nach vorne hin zunehmen lassen (Abb. 2, Bsp. 1). Etwas, das bei einer technisch anspruchsvollen Waffe wie Langschwertern nicht vorkommt, denn man erhielte etwas, das sich führen ließe wie ein Baseballschläger: sehr vorderlastig, d.h. gefühlt sehr schwer, aber auch sehr wuchtig, aber einmal in Bewegung, kaum mehr zu lenken.

Auch eine gleichmäßige Verteilung ist denkbar (Abb. 2, Bsp. 2), was immer noch eine gefühlt schwere Waffe ergibt, aber durchaus führbar und wuchtig im Schlag. So ähnlich waren Richtschwerter oder sind Macheten geschaffen.

Verjüngt man die Klinge zur Spitze hin, wie es bei Schwertern die Regel ist, hat man immer noch zahlreiche Varianten der Masseverteilung, angefangen von einer gleichmäßigen Verjüngung (Abb. 2, Bsp. 3) über eine breite Basis mit besonders schlanker Spitze (Abb. 2, Bsp. 4) oder umgekehrt eine zunächst unmerklich und zum Ort hin stärker werdende Verjüngung (Abb. 2, Bsp. 5).

Alle Varianten sind legitim und sie unterscheiden sich zunächst im Schwerpunkt. Dieser liegt offensichtlich mittig, wenn die Masse gleichmäßig über die Länge verteilt ist und wandert ansonsten in die Richtung, in die auch die Masse verschoben wurde.

Bis hierher kann man zwar sagen, dass ein Schwert sich umso leichter anfühlt, je weiter der Schwerpunkt an der Angel liegt, was Beispiel 4 entspricht. Aber daraus abzuleiten, dass ein Schwert allein aufgrund dessen automatisch *besser* zu führen ist, wird sich als Trugschluss erweisen – zumal die meisten Schwerter eher eine Masseverteilung wie in Beispiel 5 aufweisen.

Tatsächlich gibt es weitere Kriterien, die es zu beachten gilt. Ein bereits auf Seite 3 angedeuteter Sachverhalt zeigt anschaulich, dass der Schwerpunkt allein nicht ausschlaggebend sein kann:

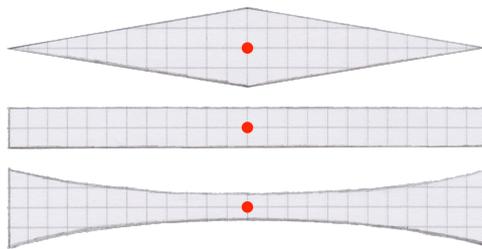


Abbildung 3: Stilisierte Darstellung dreier Körper mit mittig gelagertem Schwerpunkt (rot) aber verschiedenen Rotationseigenschaften.

Die in Abbildung 3 dargestellten Objekte verdeutlichen dies. Obgleich sie dieselbe Masse und den selben Schwerpunkt haben, ist die Masse beim ersten Objekt nah um den Schwerpunkt konzentriert, beim zweiten Objekt gleichmäßig über die ganze Länge verteilt und beim dritten Objekt sehr weit außen gelagert. Dadurch wird sich das erste Objekt bei gleichem Kraftaufwand sehr viel schneller um den eigenen Schwerpunkt drehen lassen, als das mittlere oder erst recht das dritte Objekt⁴.

Auf ein Schwert übertragen bedeutet dies, dass es umso schneller um seinen Schwerpunkt gedreht werden kann, je mehr der Masse sich um den Schwerpunkt konzentriert. Das ließe sich durchaus realisieren (vgl. Abb. 4).

⁴Physikalisch gesehen geht es hier um das Massenträgheitsmoment. Dieses ist von Körperform und Masseverteilung abhängig. Das Prinzip kennt man anschaulich von Eiskunstläuferinnen: Sie beginnen eine Pirouette in langsamer Geschwindigkeit, beide Arme und ein Bein ausgestreckt. Je weiter sie Arm- und Beinmasse zur Drehachse bringen, desto schneller wird die Rotation.

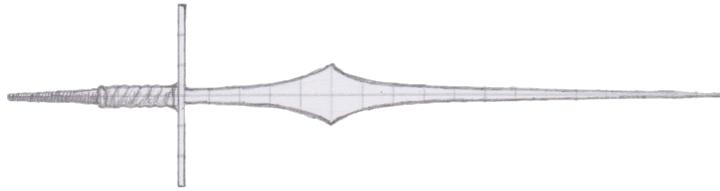


Abbildung 4: Ein Schwert-ähnliches Objekt, dessen einziger Gedanke darauf liegt, die Masse für eine schnelle Rotation am Schwerpunkt zu konzentrieren.

Natürlich müsste man auf einen Knauf verzichten, der viel zu viel Masse weitab des Schwerpunktes darstellen würde. Schlimm genug, dass die Parierstange nicht direkt beim Massezentrum liegt! Diese Darstellung ist insofern stilisiert, als dass die Klinge abseits des Schwerpunktes noch viel dünner sein müsste! Obwohl sich dieses Schwert hier mit Sicherheit extrem schnell um seinen Schwerpunkt drehen ließe – und obwohl der Schwerpunkt gar nicht mal sooo weit vor dem Gehilz liegt, sich das Schwert also nicht sehr schwer (aber auch nicht sehr leicht) anfühlt –, dürfte spätestens hier ist klar sein, dass die Masseverteilung rund um den Schwerpunkt nicht alleiniges Kriterium für gute Führbarkeit eines Schwertes sein kann.

Wenngleich ich hier verschiedene Prinzipien in ihrer Alleinstellung ad absurdum geführt habe, sind die Ansätze per se nicht schlecht. Tatsächlich sollte der Schwerpunkt in Richtung Gehilz verlagert werden, damit die Klinge sich leicht anfühlt und wendig zu führen ist. Und ebenso sollte man es vermeiden, zu viel Masse weit vor dem Schwerpunkt zu lagern, um eine recht schnelle Drehung zu ermöglichen. Beide Ansätze führen dazu, dass die Klinge sich nach vorne hin verjüngt.

Wie sie das genau tut, hängt davon ab, wie wuchtig oder wie schnell man das Schwert später haben möchte. Welche Auswirkungen die Masseverteilung weiterhin hat, möchte im Abschnitt 2.4 erklären, wenn es um die Masse des Knaufs geht.

Zum Abschluss dieses Unterabschnitts noch einmal der Hinweis: Bei der Masseverteilung geht es nicht darum zu fragen, wohin man die ungeliebte Masse am besten verschiebt, damit sie möglichst wenig stört, sondern für jeden Punkt zu prüfen, wie viel Masse überhaupt benötigt wird! Ist insgesamt zu viel oder zu wenig Masse vorhanden, hat der Schmied diese schlecht kalkuliert – und womöglich ein Problem, denn nachträgliches Hinzufügen von Masse ist kaum möglich. Insofern ist die Masseverteilung stets in Kombination mit der Gesamtmasse zu sehen.

2.2.2 Querschnittsformen & Hohlkehle

Nachdem der Schmiedeprozess der Masseverteilung in Längsrichtung abgeschlossen ist, kann man sich daran begeben, die Klingenschnittsform zu definieren. Dabei wird die Klingebreite vergrößert, die Klingendicke festgelegt, der Keilwinkel angedeutet und eventuell eine Hohlkehle hinzugefügt.

Wie die Querschnitte gewählt werden, hängt wiederum von der Art des Schwertes und den gewünschten Eigenschaften ab: Ein auf den Schnitt ausgerichtetes Schwert wird eher eine breite flache Klinge benötigen, ein Stoßschwert einen rhombenförmigen dicken Querschnitt (vgl. Abb. 5).



Abbildung 5: Typischer Querschnitt eines auf Schnitt ausgelegten Schwerts (links: flach und breit) sowie eines Stoßschwertes (rechts: dick und schmal).

Dabei verändern sich die Querschnitte innerhalb derselben Klinge von der Angel bis zum Ort durchaus nicht-proportional. Viele Schwerter besitzen auch eine Hohlkehle; diese durchmisst meistens nicht die gesamte Klingenlänge. Wiederum verweise ich hier auf die Oakeshott-Klassifizierung, welche Schwerter auch nach der Klingenform kategorisiert, wobei die Hohlkehle maßgeblich diese Form mitbestimmt.

Die Hohlkehle wird zuweilen auch *Blutrinne* genannt. Ich weiß nicht, woher dieser Begriff stammt oder ob es viele Menschen gibt, die glauben, dieser Name für die Hohlkehle rühre wirklich daher, dass man daran das Blut aus dem Körper des Gegners schneller ablaufen lassen wollte. Wenn dem so ist, handelt es sich um ein Gerücht. Selbst wenn das funktionieren würde, wäre ein Kämpfer, der sein Schwert im Gegner stecken lässt, ein Idiot. Wie kann er sicher sein, die Waffe nicht noch zu brauchen, zumal diese einen immensen materiellen Wert darstellt.

Eine weniger blutrünstige, aber dennoch physikalisch missverständlich formulierte Annahme besteht darin, das Fräsen einer Hohlkehle erhöhe die Stabilität der Klinge. Man vergleiche nur die folgenden Querschnitte:



Abbildung 6: Querschnitte selber Breite und Dicke ohne und mit Hohlkehle

Zunächst wurde die Hohlkehle – im Vergleich zu modernen Verfahren – nicht gefräst, doch dazu gleich mehr. Der Irrtum in obiger Annahme, der allerdings mit der Methode des Fräsens einhergeht, besteht darin zu glauben, dass hier Material *weggenommen* wird und dies zugleich die Stabilität erhöht. In Abbildung 6 hat der rechte Querschnitt weniger Masse als der linke, aber die gleiche Dicke. Stabiler ist er insofern nicht, eher im Gegenteil.

Vielmehr muss man das Prinzip der Hohlkehle so verstehen, dass eine Klinge mit Hohlkehle fast genauso stabil ist wie eine ohne, aber das bei geringerer Masse. Doch das funktioniert nicht durch Fräsen der Hohlkehle, sondern indem man die Klinge zwischen Hammer und Gesenk in der Klingensmitte auseinandertreibt (vgl. Abb. 7). Was entsteht, ist eine verbreiterte Klinge gleicher Dicke.

Hätte man diese Breite ohne Hohlkehle erzielen wollen, hätte man mehr Material benötigt. Da die Dicke der Klinge maßgeblich für ihre Stabilität und Biegsamkeit verantwortlich ist, hat die Klinge mit Hohlkehle die gleiche oder eine nur unwesentlich geringere Stabilität als die Klinge ohne Hohlkehle (vgl. Abb. 6).

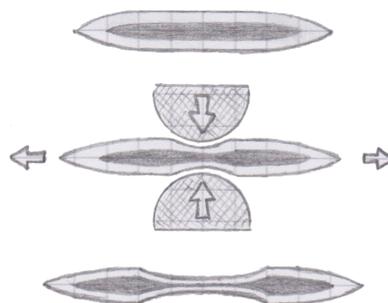


Abbildung 7: Schmieden einer Hohlkehle. Dunkel: der weiche Eisenkern; schraffiert: Hammer und Gesenk; Pfeile: Kräfte bzw. Streckrichtung des Metalls.

In Abbildung 7 erkennt man auch, warum die Hohlkehle nicht durch Fräsen erzeugt werden sollte: Wenn die Klinge aus einem weichen Eisenkern (dunkel) und

zwei härteren Stahlschichten besteht⁵, würde man letztere beim Fräsen verletzen und den weichen Kern freilegen. Beim Schmieden der Hohlkehle wird alles gestreckt und der Schichtenaufbau bleibt erhalten. Auch bei einer Klinge aus einem Metall ist Schmieden besser als Fräsen, weil dadurch kristalline Schichten im Metall nur verbogen und nicht zerstört werden.

Die folgende Illustration verdeutlicht den Zusammenhang von Querschnitt und Stabilität nochmal anders: Welche Klingenschnitte kann man bei *derselben Klingbreite* und einer bestimmten Menge an Material erzeugen?

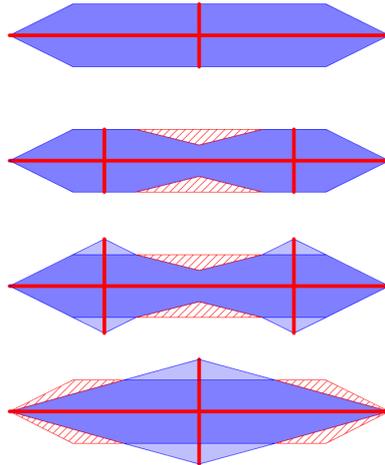


Abbildung 8: Gleiche Breite, gleiche Materialmenge, aber verschiedene Klingenschnitte; rote dicke Linien: Breite und Dicke der Klinge; rot schraffiert: entferntes Material; hellblau: hinzugefügtes Material

Ausgehend von einer flachen Klinge (Abb. 8, oberste) kann man etwas Material herausfräsen. Die entstehende Klinge (Abb. 8, zweite von oben) wäre gleich dick, gleich breit und somit etwa gleich stabil (und nicht stabiler, wie fälschlicherweise gerne angenommen), aber etwas leichter. Man könnte das entfernte Material aber auch in diesem Gedankenexperiment seitlich hinzufügen⁶. Die entstehende Klinge (Abb. 8, dritte von oben) wäre gleich schwer, aber aufgrund der höheren Dicke tatsächlich stabiler als die erste. Das Stabilitätsprinzip wird gerne mit dem eines Doppel-T-Trägers (H-Träger) verglichen. Eine andere Möglichkeit ganz ohne Hohlkehle, bei gleicher Materialmenge die Stabilität zu erhöhen besteht im mittigen Anhäufen des Materials. Der daraus resultierende Querschnitt (Abb. 8, unterste) ist wieder eine typische Stoßklinge.

Ein letztes zu Querschnitten: Ich halte es für ein Gerücht, dass ein unscharfes Trainingsschwert per se schwerer oder schlechter ausbalanciert ist als sein scharfes Pendant. Denn die Balance ist eine Frage der Masseverteilung über die Länge des Schwertes.

Ein gutes Trainingsschwert ist mitnichten die bloß-nicht-scharfgeschliffene und demnach schwerere Variante des „richtigen“ Schwertes. Und umgekehrt ist das scharfe Schwert kein heruntergeschliffenes Trainingsschwert (vgl. Abb. 9, mitte). Wenn man nun zwei Klingen identischer Masseverteilung in einen Fall scharf ausschmie-

⁵Laut [DKS] ist eine Klinge mit weichem Eisenkern übrigens nicht besser als eine, die nur aus Stahl besteht, jedoch war Stahl im Mittelalter rund zehn mal teurer!

⁶Beim Schmieden der Hohlkehle wird das Material jedoch *nicht* wie hier abgebildet bei gleicher Klingbreite seitlich aufgehäuft, sondern die Klinge verbreitert sich.

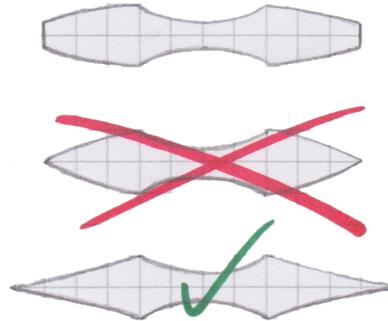


Abbildung 9: Gut ausbalanciertes Trainingsschwert (oben); scharf geschliffenes Trainingsschwert (mitte); gut ausbalancierte scharfe Klinge (unten)

det (vgl. Abb. 9, unten) und im anderen Fall eine Schlagkante von z.B. 3mm stehen lässt (vgl. Abb. 9, oben), wird das scharfe Schwert vielleicht breiter sein als die unscharfe Trainingswaffe, aber – aufgrund identischer Masseverteilung – um keinen Deut besser (oder schlechter) ausbalanciert!

Zusammengefasst kann man sagen, dass die Wahl der Masseverteilung und die Wahl der Querschnitte direkt mit der gewünschten Fechttechnik interagiert. Ein auf einen kräftigen Hieb ausgerichtetes Schwert wird beispielsweise eine flache breite Klinge besitzen, deren Schwerpunkt ein gutes Stück vor dem Gehilz liegen darf; ggf. mit Hohlkehle. Ein präzises Stoßschwert besitzt hingegen eine stabile schmale dicke Klinge mit dem Schwerpunkt näher am Gehilz.

2.3 Die Parierstange

Die Parierstange hat ihren Namen insofern zu unrecht, als dass man nicht mit ihr, sondern mit der Klinge eines Schwertes, gegnerische Schläge pariert. Sie dient zunächst als Schutz vor dem Abrutschen der gegnerischen Klinge auf die eigenen Hände. Die Parierstange eines Langschwertes war in der Regel etwa so breit wie das Gehilz lang war, oder etwas kürzer.

Mit ihr kann man – je nach Form mehr oder weniger gut – Techniken durchführen, wie das Aussperren der gegnerischen Klinge oder dem Einklemmen derselben zwischen eigener Klinge und Parierstange. In einigen Techniken wie dem Mordschlag kann sie auch direkt als Waffe dienen. Dass sie jedoch dazu dienen soll, „die Hand vor dem Aufprall auf den gegnerischen Schild (zu schützen)“ ([TL], S. 22, Kasten), wie Thomas Laible in seinem Buch *Das Schwert* behauptet, halte ich für nicht plausibel. Bei einem Langschwert⁷ schon deshalb, weil man ohne Schild ficht.

Oakeshott unterschied auch zwölf Typen von Parierstangen (vgl. Abb. 10). Neben dem Aspekt des Designs unterscheiden diese sich auch in ihren Anwendungsmöglichkeiten. Kleine Haken oder Verdickungen an den Enden können das Abrutschen der Gegnerischen Klinge über den Rand der Parierstange verhindern; eine nach vorne rund gebogene Parierstange erleichtert womöglich das Einklemmen der gegnerischen Klinge und die von oben betrachtet S-förmigen Parierstangen erlauben es, durch Eindrehen des Schwertes die gegnerische Klinge einzufangen, ein Abrutschen parallel zur Parierstange zu verhindern oder es dem Gegner zu erschweren, mit seinem Schwert über das eigene zu langen.

⁷Aber auch bei einhändig geführten Waffen halte ich dies im Allgemeinen für fraglich: Bei der Kombination Schwert und Buckler ist dies aufgrund der Schildgröße nicht möglich; Wikingerschwerter hatten zum Beispiel keine Parierstange, die lang genug gewesen wäre, diese Funktion auszufüllen – und die kämpften mit größeren Schilden.

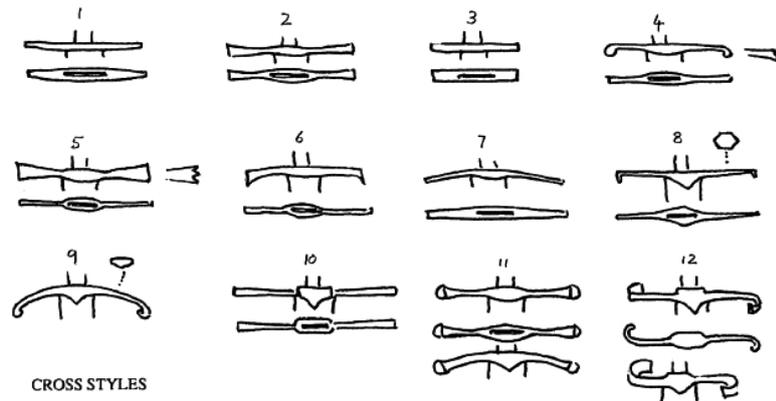


Abbildung 10: Oakeshotts zwölf Parierstangen-Typen, Quelle: [SST]

2.4 Der Knauf

Der Knauf, früher Knopf genannt, vervollständigt die Klinge zu einem Schwert, sodass nun im Folgenden endlich weitere Aspekte der Schwertbalance betrachtet werden können. Der Knauf wurde befestigt, indem man die durch ihn hindurchragende Angel am Ende pilzförmig stauchte. Sehr beliebt war der Scheibenknauf, vielleicht, weil er beides vereinte: Eine runde, in der Hand angenehm zu haltende Form, und eine haptische Orientierung über die Position der Klingflächen, was z.B. ein kugelförmiger Knauf nicht leisten kann.

Oakeshott unterschied 35 Knauftypen (vgl. Abb. 11). Dabei halte ich die genaue Form des Knaufs, abgesehen von der Haptik, im Wesentlichen für eine Frage des Designs. Für die Balance relevant ist sein Gewicht!

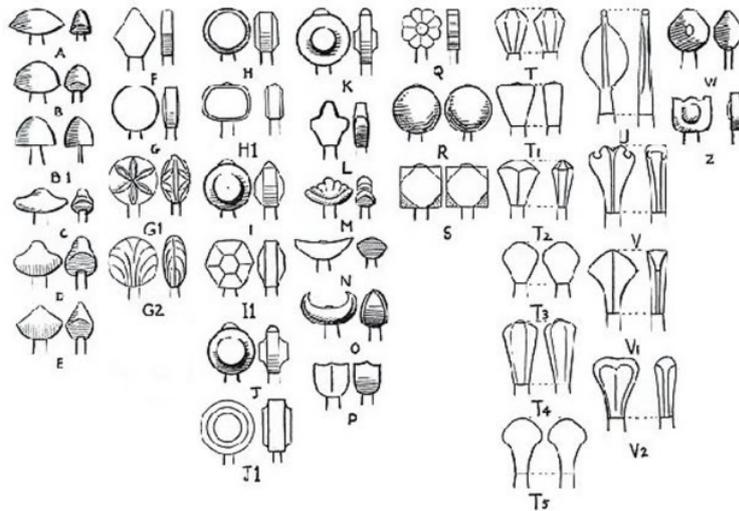


Abbildung 11: fünfunddreißig Knauftypen nach Oakeshott, Quelle: [SST]

Im Folgenden betrachte ich drei Punkttypen, deren Position vom Knaufgewicht abhängt: Schwerpunkt, Vibrationsknoten und Drehpunkte. Von deren Existenz und Bedeutung weiß ich z.T. durch den Vortrag und das Video [CS] von Peter Johnsson. Die Überlegungen und Abbildungen zu deren Positionsveränderung bei variablem Knaufgewicht, insbesondere später im Kapitel 3, sind jedoch mein Werk.

2.4.1 Schwerpunkt

Bleibt man zunächst bei der Betrachtung des Schwerpunkts, lässt sich klar feststellen, dass der Knauf diesen zum Gehilz hin verlagert. Soweit dient der Knauf als Gegengewicht zur Klinge und wäre der Schwerpunkt das einzig Interessante, bräuchte man sich nur Gedanken darüber zu machen, wo dieser liegen soll und könnte durch einfache Berechnung leicht die notwendige Knaufmasse bestimmen.

Wie bereits erwähnt, würde ein sehr leichter Knauf – oder das Fehlen eines solchen – selbst bei einer sich zum Ort hin verjüngenden Klinge zu einem vorderlastigen und damit gefühlt relativ schweren Schwert führen, weil der Schwerpunkt immer noch weit vor der Parierstange läge. Umgekehrt kann der Schwerpunkt umso weiter nach hinten verlagert werden, je größer die Masse ist. Doch Vorsicht: Dabei wird die absolute Masse des Schwertes natürlich größer. Übertreibt man es, mag das Schwert sich zwar nicht so schwer anfühlen wie es ist, weil der Schwerpunkt genau im Griffbereich liegt, aber bei einem zu hohen Absolutgewicht bringt das dann auch nichts mehr (vgl. Abb. 12). Schon hier gilt es, einen Kompromiss zu finden.

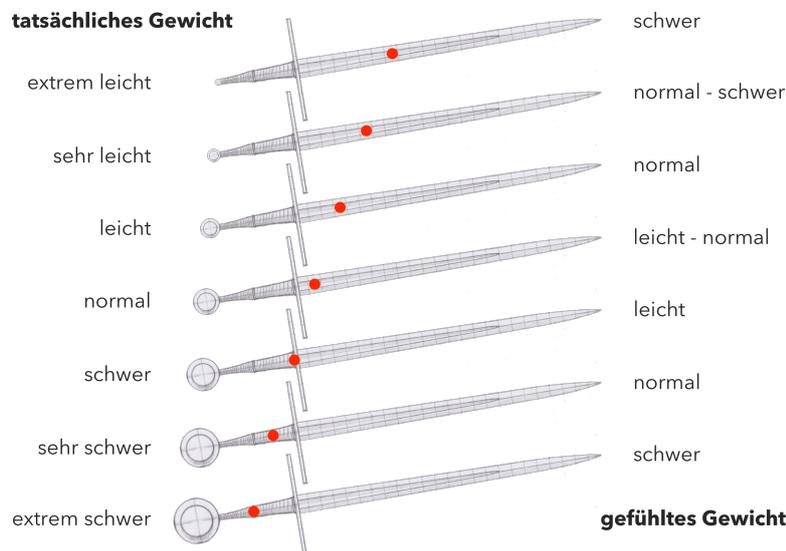


Abbildung 12: Ein Schwert mit viel zu leichtem Knauf kann sich durch seine starke Vorderlastigkeit trotz des geringen Gewichts relativ schwer anfühlen. Umgekehrt lässt ein zunehmend schwererer Knauf den Schwerpunkt zwar zur Hand hin wandern, sodass das gefühlte Gewicht zunächst abnimmt; übertreibt man es jedoch, wirkt das Schwert durch seine wachsende Gesamtmasse trotz allem wieder schwer.

Darüber hinaus muss man sich nochmal klar machen, was es fechterisch bedeutet, wenn der Schwerpunkt im Griffbereich hinter der Parierstange läge:

Wenn er sich etwa genau dort befindet, wo die Führungshand das Schwert greift, spürt der Fechter zwar das Gesamtgewicht, hält aber ansonsten etwas in Händen, das absolut keine Tendenz zeigt, in irgendeine Richtung abzusinken. Es fehlt die gefühlte Orientierung über die Position der Klinge. Diese kann man nicht fallen lassen, ohne sie mit der zweiten Hand aktiv nach unten zu bewegen. Auch fehlt jegliche Wucht im Hieb. Selbst an seiner Stärke unmittelbar über der Parierstange wäre dieses Schwert durch die gegnerische Klinge lenkbar.

Vor allem aber kann man keinen Hieb führen, ohne die Klinge manuell in den richtigen Winkel zu drehen. Ich spreche nicht vom geworfenen Hieb. Ich spreche davon, dass die Klinge in ihrem Winkel auch beim gezogenen Hieb der Bewegung nicht folgt. Lenkt man sie nicht über den Knauf mit der zweiten Hand, neigt die

Klinge dazu im selben Winkel zu verbleiben, wie sie war, als man den Hieb begann. Es fehlt jegliche fühlbare Rückmeldung der Waffe an den Fechter über die Position der Klinge. Eine gut ausbalancierte Waffe sollte jedoch die Bewegungen des Fechters intuitiv unterstützen. Daher ist es unabdingbar, den Schwerpunkt ein Stück vor der Parierstange zu belassen!

Noch fataler wäre es, den Schwerpunkt noch weiter nach hinten, in die Griffmitte und damit hinter die Führungshand zu verlagern. Zwar hat man nun eine Rückmeldung der Waffe über die Position des Knaufs, aber man müsste zu viel Kraft auf die Ausrichtung des Knaufs mit der zweiten Hand verwenden, will man nicht, dass die Klinge immer wieder in die Vertikale zurück möchte. Abgesehen davon ist das Gesamtgewicht dieser Waffe, wie schon gesagt, zu hoch!

Das Gewicht des Knauf wirkt sich neben dem Schwerpunkt auf weitere für den Fechter relevante Punkte aus: Die Vibrationsknoten und die Drehpunkte, welche ich im Folgenden erläutern möchte.

2.4.2 Schwingungsknoten

Schlägt man gegen einen frei hängenden Metallstab, gerät dieser in Schwingung. Es handelt sich um sogenannte Transversalschwingung⁸. Dabei gibt es zwei vibrationsfreie Punkte, die scheinbar stillstehen, die sog. Schwingungsknoten. Ist der Stab homogen⁹, befinden sich diese in der Theorie genau $\frac{1}{6}$ der Gesamtlänge vor den beiden Enden des Stabes (vgl. Abb 13).



Abbildung 13: Ein in Schwingung versetzter Stab und seine beiden Knoten.

Eine Schwertklinge ist nicht homogen. Dennoch ist sie eine Art Metallstab oder -blatt und kann demzufolge in genau diese Transversalschwingung (im Folgenden nur *Schwingung*) versetzt werden. Die Berechnung der genauen Position der Schwingungsknoten (im Folgenden nur *Knoten*) ist recht schwierig und soll nicht Gegenstand dieser Hausarbeit sein. Wichtig ist, dass die Knoten existieren und identifiziert werden können. Wie das geht, beschreibe ich in 3.2.

Befestigt man nun ein Gewicht an einem Ende des Stabes, verändert sich die Position der Knoten. Wiederum möchte ich auf eine genaue Berechnung verzichten und mich auf das Prinzip beschränken: Die Knoten wandern zum Gewicht hin – und zwar unterschiedlich schnell. Während der vom Gewicht entfernt liegende Knoten seine Position nur unwesentlich verändert, macht der nah am Gewicht liegende Knoten einen größeren Sprung.

Denkt man sich wiederum die Klinge an Stelle des Stabes und den Knauf an Stelle des Gewichtes, so sieht man, dass das Gewicht des Knaufs offensichtlich die Knoten der Klinge verändert. Der Schwertschmied muss sich dessen bewusst sein, denn für den Fechter ist die Position dieser Punkte nicht unwichtig, vor allem desjenigen auf Seite des Knaufs.

Liegt dieser nämlich im Griffbereich, empfindet man das Schwingen der Klinge als nicht so stark, wie es bei etwa bei einer Parade sein kann. Genau am Knoten selbst fühlt man die Schwingung nicht. Und unmittelbar in dessen Umgebung ist die Auslenkung recht gering. Der Bereich um den hinteren Knoten ist also prädestiniert, um das Schwert zu halten.

⁸Der Stab schwingt quer zu seiner Längsrichtung. Dem gegenüber gibt es Longitudinalschwingung (der Stab schwingt in Längsrichtung) und Torsionsschwingung (der Stab wird verdreht).

⁹Die Masseverteilung der Stange ist gleichmäßig: sie ist überall gleich dick.

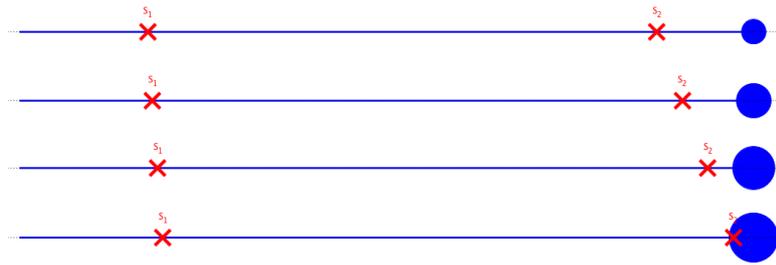


Abbildung 14: Veränderte Position der Knoten bei Hinzufügen verschiedener Gewichte an einem Ende. Dieser Abbildung liegt keine physikalische Theorie zugrunde. Es handelt sich lediglich um eine Veranschaulichung, um eine Skizze!

Die Knoten haben nicht nur die Eigenschaft, dass das Schwert hier nicht schwingt, sondern auch, dass ein Schlag oder Hieb auf ausgerechnet diese Punkte die Klinge gar nicht erst in Schwingung versetzen kann! Das heißt: Trifft der Fechter mit dem vorderen Knoten sein Ziel, gerät das Schwert erstens nicht in unangenehme Schwingung. Zweitens, und dies ist noch wichtiger, wird keine in den Schlag eingebrachte Bewegungsenergie für das in-Schwingung-Bringen des Schwertes abgezweigt¹⁰; die gesamte Schlagenergie geht auf das Ziel über, der Hieb hat bei gleichem Kraftaufwand mehr Wucht!

Insgesamt möchte ich die Bedeutung der Knoten bei der Wahl des richtigen Knaufgewichts jedoch auch nicht überbewerten. Bezüglich der Position der Knoten hat der Schmied hier einen gewissen Spielraum. Ob der hintere Knoten nun genau in der Griffmitte oder in der Mitte der Führungshand liegt, ist – behaupte ich – nicht so wichtig. Hier gibt es eine Toleranz von einigen Zentimetern, was durchaus einige Freiheiten bei der Masse des Knaufs erlaubt. Und da der vordere Knoten sich weniger verändert – beim Schwert allerdings aufgrund einer anderen Masseverteilung doch etwas mehr als beim homogenen Stab –, ist die richtige Position der Vibrationsknoten bei der Schwertherstellung vielleicht eher ein positiver Nebeneffekt, wenn man etwa die Drehpunkte beachtet, die ich für weit wichtiger halte.

2.4.3 Drehpunkte

Man betrachtet zunächst wieder einen homogenen Metallstab. Diesen hält man senkrecht und wählt einen Ansetzpunkt¹¹ auf dem Stab, wo man diesen zwischen Daumen und Zeigefinger festhält. Indem man die Hand nun schnell¹² hin und her bewegen, versetzt man den Stab in eine Rotation. Man kann beobachten, dass diese Rotation wiederum einen Fixpunkt besitzt, um den der restliche Stab sich dreht. Dieser Punkt ist der Drehpunkt zum gewählten Ansetzpunkt.

Prinzipiell funktioniert das für jeden Ansetzpunkt auf dem Stab! Genaugenommen gibt es also unendlich viele Drehpunkte: zu jedem Ansetzpunkt genau einen! Durch einfaches Ausprobieren kann man leicht herausfinden, wie die Position des Drehpunktes von dem Ansetzpunkt abhängt und stellt folgendes fest (vgl. Abb. 15): Erstens liegt der Drehpunkt vom Schwerpunkt aus betrachtet immer auf der anderen Seite des Ansetzpunktes. Zweitens liegt keine Spiegelsymmetrie zwischen Dreh-

¹⁰Man kann dieses Prinzip auch umgekehrt nutzen: Beim – im Vergleich zum Zwerchhau – relativ harmlosen Prellhau wird absichtlich Schlagenergie in die elastische Deformierung der Klinge abgezweigt, die danach ordentlich schwingt, aber nur relativ wenig Schaden anrichtet!

¹¹Hier setzt die Kraft an, mit der man den Stab in Bewegung versetzt. Man könnte auch *Kraftpunkt* oder *Festhaltepunkt* sagen.

¹²Nicht übertreiben, aber auf keinen Fall zu langsam – sonst beginnt der Stab um den Ansetzpunkt zu pendeln.

und Ansetzpunkt vor, sondern der Drehpunkt liegt umso näher am Schwerpunkt, je weiter der Ansetzpunkt von diesem entfernt liegt¹³.

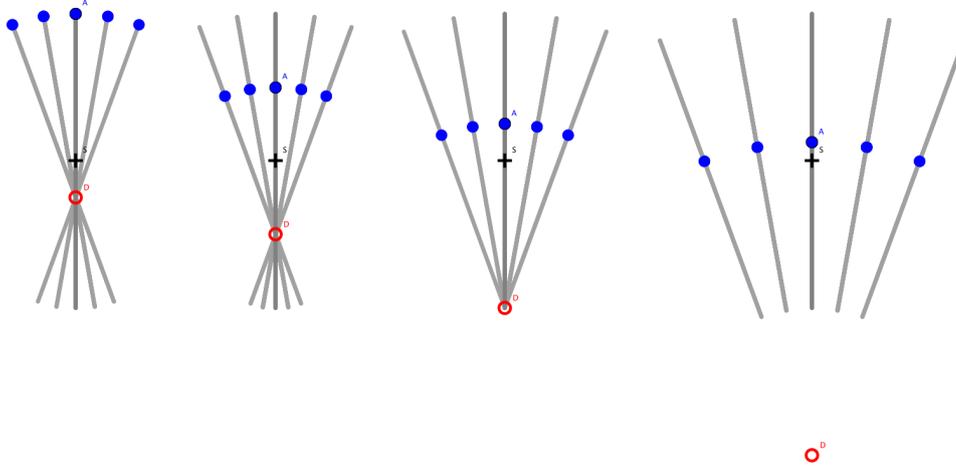


Abbildung 15: Drehpunkte eines homogenen Stabes bei versch. Ansetzpunkten

Dabei kann der Drehpunkt durchaus auch außerhalb des Stabes liegen, wenn man den Ansetzpunkt sehr nahe beim Schwerpunkt wählt. Spezialfall: Wählt man den Schwerpunkt selbst als Ansetzpunkt, liegt der Drehpunkt unendlich weit entfernt. Der Stab bewegt sich einfach ohne Rotation nur hin und her. Man kann den Ansetzpunkt sogar unter dem Schwerpunkt wählen. Das ist praktisch etwas schwierig zu händeln, aber es geht: der Drehpunkt liegt über dem Schwerpunkt des Stabes.

Auch bei einer Schwertklinge existieren solche Drehpunkte. Ihre genaue Position hängt abermals von der Masseverteilung der Klinge ab. Diese Positionen zu berechnen soll wiederum nicht Teil dieser Hausarbeit sein, statt dessen kann man sie durch Ausprobieren herausfinden. Man betrachtet die Klinge, zunächst ohne Knauf. Diese hält man senkrecht, mit dem Ort nach unten und schaut auf die Schneide der Klinge, markiert die Punkte aber auf dem Blatt.

Interessant sind Drehpunkte zu Ansetzpunkten auf der Angel, denn dort wird das Schwert später am Griff geführt werden. Im Besonderen betrachtet man den Ansetzpunkt unmittelbar hinter der Parierstange und den Ansetzpunkt am Ende der Angel, welche *vorderer* bzw. *hinterer* Drehpunkt heißen. Und zwar zum einen, weil sie die Randpunkte der Angel sind und ihre zugehörigen Drehpunkte somit den Bereich aller Drehpunkte eingrenzen. Zum anderen sind sie für den Fechter von besonderer Bedeutung sind, wie ich gleich noch erläutern werde.

Nun soll ein Knauf hinzukommen. Anhand von Abbildung 15 kann man bereits theoretisch überlegen, was passiert werden muss: Durch das zusätzliche Gewicht wandert der Schwerpunkt nach oben! Wenn man die gleichen Ansetzpunkte wählt wie zuvor ohne Knauf, liegen diese jetzt näher am Schwerpunkt. Weil ja der Drehpunkt umso weiter vom Schwerpunkt entfernt liegt, je näher der Ansetzpunkt am Schwerpunkt liegt, folgt, dass die Drehpunkte beide durch Hinzufügen eines Knaufs zum Ort hinwandern¹⁴ müssen!

¹³Im mathematisch idealisierten Fall kann man von einem antiproportionalen Zusammenhang der Abstände von Ansetzpunkt zu Schwerpunkt und Drehpunkt zu Schwerpunkt ausgehen. Es gibt einen Punkt, an dem beide Abstände gleich sind. Von da aus gilt: Streckt man den Abstand von Ansetzpunkt zu Schwerpunkt mit dem Faktor k , so streckt sich der Abstand von Drehpunkt zu Schwerpunkt mit Faktor $\frac{1}{k}$.

¹⁴Zumindest, solange man den Knauf nicht so schwer macht, dass der Schwerpunkt hinter den

Anhand eines echten Trainingsschwertes, das – wie ich fand – besonders schön in der Hand gelegen hatte¹⁵, habe ich die Position des vorderen und hinteren Drehpunktes getestet (vgl. Abb. 16). Ohne Knauf liegt der vordere Drehpunkt bei einem Langschwert etwa in der Mitte des Blattes (je nach Masseverteilung), der hintere recht nah am Schwerpunkt. Soweit nett, aber kaum von Bedeutung. Mit Knauf wandert der hintere Schwerpunkt nun etwa in die Mitte des Blattes und der vordere in den Ort!



Abbildung 16: Vorderer und hinterer Drehpunkt (rot) desselben Schwerts ohne und mit Knauf. Schwerpunkt: Schwarzes +. Vorderer und hinterer Ansetzpunkt sind nicht eigens markiert, dafür aber die Schwingungsknoten (grün).

Die Position des hinteren Drehpunktes ist insofern relevant, als dass dies der Punkt ist, um den die Klinge sich dreht, wenn der Fechter das Schwert am Knauf aktiv bewegt und die vordere Hand nur mitführt. Etwa wenn er vom linken in den rechten Pflug wechseln möchte. Die Klinge bleibt in etwa, wo sie ist, das Schwert deckt den Fechter komplett ab. Oder wenn er mit dem Schwert um die gegnerische Klinge winden muss, so funktioniert dies gut, wenn die gegnerische Klinge an der Schwäche anbindet, ohne diese zur Seite zu drücken. (In der Stärke kann man ja sowieso gut arbeiten.) Jedoch ist der hintere Drehpunkt meines Erachtens nicht so wichtig wie der vordere:

Was den vorderen Drehpunkt betrifft, bedeutet seine Position für einen Fechter, der sein Gegenüber mit dem Ort bedroht, dass er sein Schwert mit der Führungshand ohne zusätzliche korrigierende Hebeltechnik der hinteren Hand locker bewegen kann und der Ort stets auf den Gegner ausgerichtet bleibt! Diese Eigenschaft ist nicht bei allen Waffen wünschenswert. Beim Rapier etwa kann es sinnvoll sein, wenn dieser vordere Drehpunkt da liegt, wo vermutlich die Waffen im Gefecht einander berühren, um schnell um die gegnerische Klinge (einhändig) herumarbeiten zu können. Doch beim Langschwertfechten spielt die Aufrechterhaltung einer Bedrohung oft eine immense Rolle, sodass die Position des vorderen Drehpunktes im Ort ein natürlich anmutendes Fechten erleichtert oder sogar erst ermöglicht!

3 Ein mathematisches Modell

Das Gewicht des Knaufs wirkt sich also auf die Position aller fünf Punkte bzw. aller drei Punktarten aus, die im vorigen Abschnitt aufgezeigt wurden:

vorderen Ansetzpunkt wandert, aber das wurde bereits in 2.4.1 für unsinnig erklärt.

¹⁵Der Plusquamperfekt ist kein Fehler: Ich habe den Knauf abmontiert...

Den Schwerpunkt – je schwerer der Knauf, desto weiter *hinten* liegt der Schwerpunkt. Ziel ist, diesen ein Stück vor die Parierstange zu setzen.

Die Schwingungsknoten – je schwerer der Knauf, desto weiter *hinten* liegen die Knoten, wobei vor allem der hintere sich verändert. Ziel ist, den hinteren Knoten in die Griffmitte oder kurz davor zu bekommen. (Der vordere soll ein Stück vor der Klingemitte liegen.)

Die Drehpunkte – je schwerer der Knauf, desto weiter *vorne* liegen diese. Ziel ist, den vorderen Drehpunkt in den Ort zu setzen. (Der hintere sollte etwa in der Mitte des Blattes sitzen.)

Diese Gegensätze zu vereinen ist die Kunst des Schwertschmiedes. Er muss die Position aller fünf Punkte gegeneinander abwägen. Mit der Wahl des richtigen Knaufgewichtes alleine ist es offensichtlich nicht getan. Denn drei Größen mit einem Parameter zu optimieren ist schlichtweg unmöglich, wenn all dies nicht schon beim Schmieden der Klinge und der Masseverteilung bedacht wurde.

Im Folgenden möchte ich anhand eines konkreten Beispiels – des Trainingsschwertes, welches bereits in Abbildung 16 zu sehen war – die Position dieser Punkte in Abhängigkeit des Knaufgewichtes aufzeigen.

Dies erfordert etwas Mathematik, aber bei den komplizierten Sachverhalten wie der Veränderung der Schwingungsknoten, welches das Lösen komplizierter Differentialgleichungen erfordern würde, will ich es bei plausiblen Annäherungen belassen.

3.1 Vermessung & Schwerpunkt

Ich beginne die Modellierung, indem ich das Schwert auf eine virtuelle Achse lege: Diese verläuft durch die Längsmittle. Die Null lege ich an die Vorderkante der Parierstange. Das Schwert hat ein Blatt von $90,8\text{cm}$; von der Vorderkante der Parierstange (d.h. von der Null) bis zur Angelspitze sind es $27,1\text{cm}$. Eine Längeneinheit im System entspricht einem Zentimeter in Wirklichkeit.

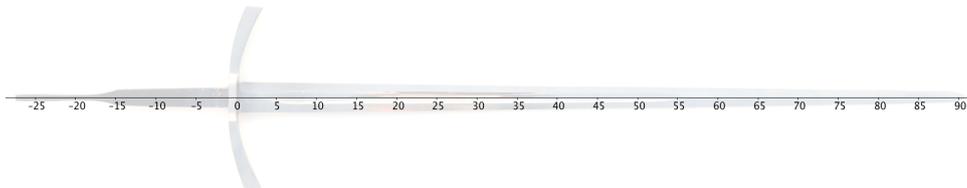


Abbildung 17: Das Schwert im Koordinatensystem. $1LE \hat{=} 1\text{cm}$.

Weiter geht es mit den Schwerpunkten. Diese zu finden ist einfach und auf den Millimeter genau messbar: Man nehme eine Packung Toblerone¹⁶ und lege die Klinge quer darüber, sodass sie darauf balanciert (siehe Abb. 19, links). Dies funktioniert mit oder ohne Knauf gleichermaßen gut. Für die Gewichtsbestimmung benutze ich eine Küchenwaage.

Die Klinge wiegt ohne Knauf 946g . Ihr Schwerpunkt SP_{\dagger} liegt $20,1\text{cm}$ vor der Parierstange. Der Knauf ist $m_{\oplus} = 431\text{g}$ schwer. Sein Schwerpunkt SP_{\oplus} liegt so, dass er aufgesteckt $22,7\text{cm}$ hinter der Parierstangenvorderkante (d.h. hinter Null) liegt. Den gemeinsamen Schwerpunkt von Knauf und Schwert kann man anhand dieser Daten als gewichteten Mittelwert berechnen:

$$SP(431) = \frac{431 \cdot (-22,7) + 946 \cdot 20,1}{431 + 946} \approx 6,70$$

¹⁶Selbstverständlich funktioniert das Ganze auch mit einem Stift o.ä., aber die Form der Schokoladenpackung, ein langes Dreiecksprisma, ist hierfür tatsächlich bestens geeignet. Noch besser wäre ein Dreikantlineal, aber ein solches hatte ich gerade nicht zur Verfügung.

Natürlich lässt sich dieser gemeinsame Schwerpunkt auch nachmessen. Die Messung bestätigt das Modell auf den Millimeter genau, sodass man verallgemeinert den Schwerpunkt des Schwertes in Abhängigkeit der Knaufmasse sehr genau wie folgt berechnen kann:

$$SP(m_{\oplus}) = \frac{m_{\oplus} \cdot (-22,7) + 946 \cdot 20,1}{m_{\oplus} + 946}$$

Analog zum echten Knauf, wird auch der virtuelle Knauf in meinem Modell $22,7\text{cm}$ hinter der Klinge ansetzen, wenn ich später dessen Masse m_{\oplus} in meiner Simulation verändern will. Den Knauf selbst ersetze ich visuell durch einen Kreis, dessen Fläche proportional zur Knaufmasse ist: $\pi r^2 \sim m_{\oplus}$ bzw. $r \sim \sqrt{\frac{m_{\oplus}}{\pi}}$

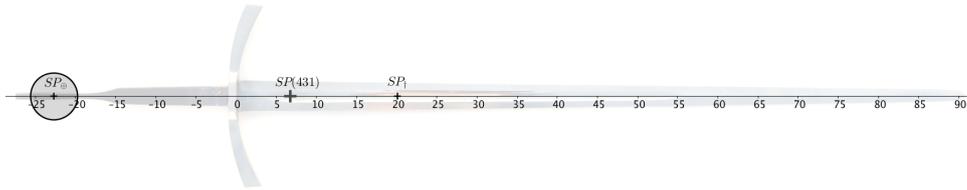


Abbildung 18: Schwerpunkte von Knauf, Schwert und Klinge für $m_{\oplus} = 431\text{g}$

Wird die Knaufmasse m_{\oplus} nun immer größer, so ist irgendwann die Klinge vernachlässigbar; der Schwerpunkt $SP(m_{\oplus})$ konvergiert also gegen SP_{\oplus} :

$$\lim_{m_{\oplus} \rightarrow \infty} SP = \lim_{m_{\oplus} \rightarrow \infty} \frac{m_{\oplus} \cdot (-22,7) + 946 \cdot 20,1}{m_{\oplus} + 946} \approx \frac{m_{\oplus} \cdot (-22,7)}{m_{\oplus}} = -22,7$$

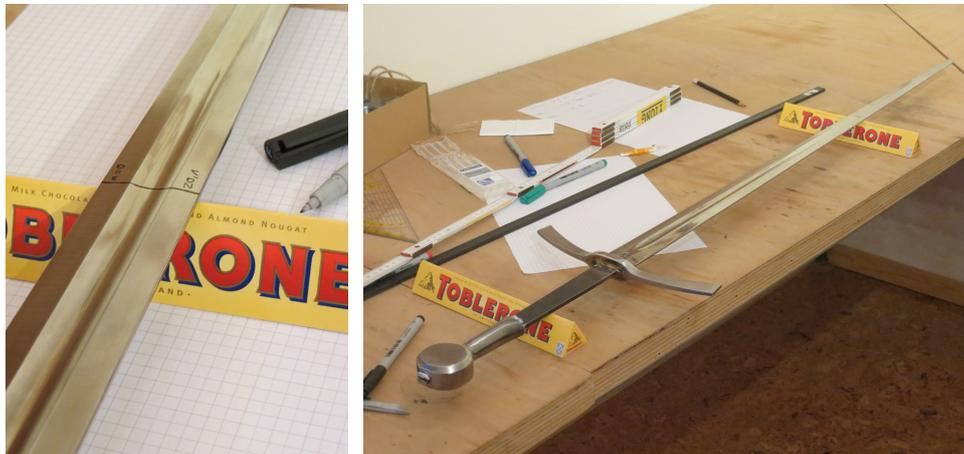


Abbildung 19: Schwerpunktsuche (links), sowie optisches Verifizieren der durch Er-tasten gefundenen Schwingungsknoten (rechts).

3.2 Schwingungsknoten

Die Schwingungsknoten können mit einer Mischung aus visueller und haptischer Suche relativ genau bestimmt werden. Dazu hält man die Klinge an den schmalen Kanten der Angel fest zwischen Daumen und Zeige- oder Mittelfinger und schlägt mit der anderen Hand gegen Klinge oder Knauf. Sofort wird man die Vibration spüren, wenn man mit Daumen und Finger nicht den hinteren Knoten getroffen

hat. Auch sehen kann man den Schwingungsknoten, wenn man auf die schmale Kante der Angel schaut.

Auf ähnliche Weise findet man anschließend den vorderen Knoten, nur dass man dieses mal die Klinge am hinteren Knoten hält. Wiederum schaut man auf die Schneide für eine grobe Eingrenzung. Um den Knoten genauer zu bestimmen, empfiehlt es sich, leicht mit dem Fingernagel an der Klinge entlang zu fahren, bis man keine Vibration mehr spürt. Dies erfordert etwas Feingefühl und ist auch nicht ganz exakt, aber doch bis auf wenige Millimeter genau¹⁷.

Für dieses Schwert ergibt sich *ohne* Knauf, dass der hintere Knoten unmittelbar 1cm vor der Parierstange liegt. Der vordere Knoten liegt $60,5\text{cm}$ vor der Parierstange. *Mit* 431g -Knauf liegen die Knoten $11,2\text{cm}$ hinter und $55,2\text{cm}$ vor¹⁸ der Vorderkante der Parierstange.

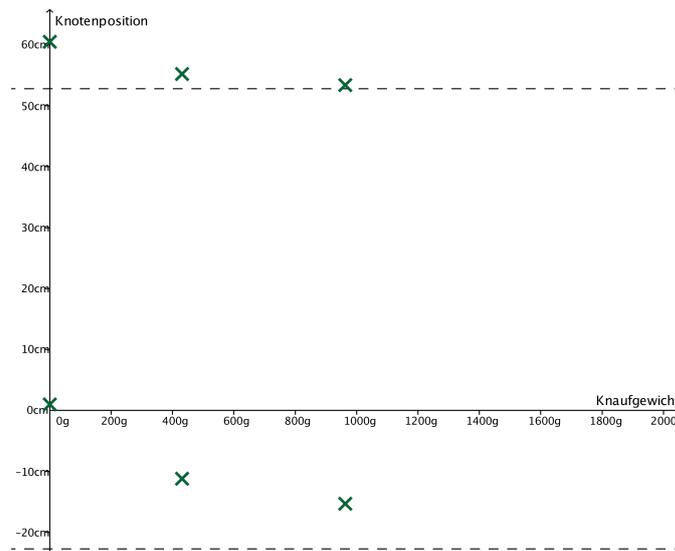


Abbildung 20: Die Messdaten der Knoten als Plot

Um die Bewegung der Schwingungspunkte besser zu verstehen, habe ich eine dritte Messung mit einem überschweren Knauf von 963g durchgeführt, bestehend aus zwei an den normalen Knauf angeklebte schwere Schraubenmuttern von je 264g plus 4g Klebeband (vgl. Abb. 21). Hier ergaben sich Knoten $15,3\text{cm}$ hinter und $53,4\text{cm}$ vor Null. Die Messungen waren aufgrund des hohen Gewichts schwierig durchzuführen und können um einige Millimeter vom echten Wert abweichen.

Das Plotten dieser Messdaten (s. Abb. 20) zeigt bereits deutlich, dass die Knoten nicht auf einer Linie liegen, sondern ihre rückwärtige Wanderung verlangsamen. Man kann sich auch theoretisch überlegen, was bei einem seehr großen Knaufgewicht passieren müsste: Der hintere Knoten wandert wiederum Richtung Schwerpunkt

¹⁷Zwischenzeitlich hatte ich diese vermeintlich viel exaktere Methode ausprobiert: Ich lagerte die Klinge waagrecht an ihren ungefähr vorlokalisierten Knoten auf eine Toblerone-Packung und einen Stift. Dann stieß ich die Klinge an, worauf sie lange vibrierte. Ich hob den Stift mit zwei Händen leicht an und rollt diesen unter der Klinge leicht vor und zurück, bis ich keine Vibration im Stift mehr spürte. Anschließend tauschte ich Schokolade und Stift und verfuhr analog im Bereich des anderen Knoten. Es stellte sich jedoch heraus, dass das Lagern auf zwischenzeitlich falschen Knoten die Position derselben veränderte, sodass die Messung hierdurch erheblich verfälscht war. Was mit den Toblerone-Packungen jedoch sehr gut geht, ist die gefundenen Punkte zu verifizieren (siehe Abb. 19, rechts): darauf gelagert und einmal leicht angestoßen, vibriert die Klinge eine Minute lang und mehr.

¹⁸Wiegessagt sind diese Werte nicht ganz genau. Durch Mitteln mehrerer Messungen, die aber ohnehin sehr dicht beieinander lagen, sollte der Fehler weniger als 5mm betragen.



Abbildung 21: Der Knauf von 963g

des Knaufs bei $-22,7\text{cm}$, was praktisch bedeutet, dass der sehr schwere Knauf nicht mehr schwingt, sondern einen Fixpunkt darstellt.

Der vordere Knoten hingegen wird gegen einen weiter vorne liegenden Wert¹⁹ konvergieren. Wo dieser liegt, vermag ich nicht zu berechnen, sodass ich einen plausiblen Schätzwert finden muss. Doch zunächst kann man sich den hinteren Knoten näher anschauen.

Es ist naheliegend, dessen Wanderung durch eine fallende Exponentialfunktion der Form $k_2(m_{\oplus}) = a \cdot b^{m_{\oplus}} + c$ darzustellen. Für diese Funktion gilt

$$k_2(0) = a \cdot \underbrace{b^0}_1 + c = a + c \quad \text{und} \quad \lim_{m_{\oplus} \rightarrow \infty} k_2(m_{\oplus}) = a \cdot \underbrace{b^{m_{\oplus}}}_0 \text{ wenn } b < 1 + c = c$$

Demnach legt man also zuerst c als gewünschten Grenzwert fest, hier $c = -22,7$, und wählt dann a so, dass für $m_{\oplus} = 0$ die Summe von a und c die gemessene Position des hinteren Knotens ergibt, hier $a + c = 1$ bzw. $a = 1 - c = 1 - (-22,7) = 23,7$.

Mit dem Parameter b kann man erreichen, dass der zweite Messwert durchlaufen wird. Dazu setze man die Werte für a und c in die allgemeine Funktion ein, ebenso wie den zweiten Messwert und löst nach b :

$$-11,2 = 23,7 \cdot b^{431} - 22,7 \quad \Rightarrow \quad b \approx 0,998324$$

Leider liegt damit der dritte Messwert ($-15,3\text{cm}$ für $m_{\oplus} = 963\text{g}$) weit ab vom hiermit errechenbaren Wert ($-18,0\text{cm}$). Zwar war diese Messung womöglich um einige Millimeter fehlerhaft, aber erstens kaum so stark und zweitens mag auch für die zweite Messung ungenau gewesen sei. Daher wähle ich $b = 0,9985$, sodass der Graph zwischen dem zweiten und dritten Messwert verläuft, aber etwas näher am zweiten, denn hier erscheint mir die Messgenauigkeit größer. Als Funktion für den hinteren Knoten erhalte ich also:

$$k_2(m_{\oplus}) = 23,7 \cdot 0,9985^{m_{\oplus}} - 22,7$$

Da ich nicht weiß, gegen welchen Wert der vordere Knoten konvergieren wird – beim hinteren war dies aus Gründen der Logik der Schwerpunkt des Knaufs – erlaubt mir

¹⁹Bei einem homogenen Stab läge dieser Wert bei $\frac{2}{3}$ der Stablänge, aber hier hat man es mit einer viel komplexeren Masseverteilung zu tun. Die Klinge verjüngt sich nach vorne, weshalb dieser Wert ein gutes Stück weiter zur Null hin liegt.

das Vorhandensein dreier Messpunkte die drei Parameter a , b und c eindeutig rechnerisch zu bestimmen, sodass alle drei Messwerte interpoliert werden. Zumindest, solange ich wiederum eine Exponentialfunktion der Form $k_1(m_{\oplus}) = a \cdot b^{m_{\oplus}} + c$ benutze. Andererseits handelt es sich um eine Annäherung, die auch einfach das graphische Annähern an eine solche Lösung toleriert. Daher wähle ich:

$$k_1(m_{\oplus}) = 7,7 \cdot 0,9973^{m_{\oplus}} + 52,8$$

In diesem Modell konvergiert der vordere Knoten gegen 52,8cm vor Null.

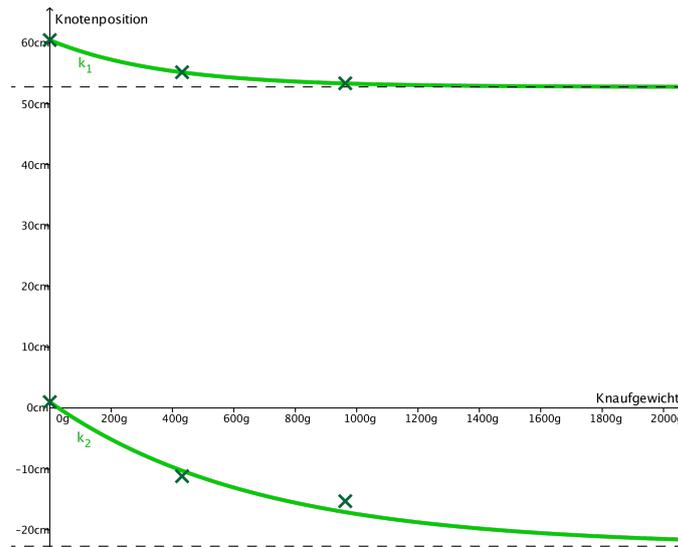


Abbildung 22: Die Graphen der Knotenfunktionen k_1 und k_2

Damit kann ich nun endlich auch die Knoten in meinem Modell darstellen:

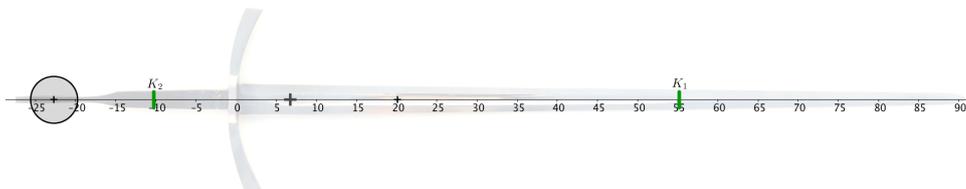


Abbildung 23: Die beiden Schwingungsknoten für $m_{\oplus} = 431g$ (grün)

3.3 Drehpunkte

Die vorderen und hinteren Drehpunkte sind etwas schwieriger zu bestimmen. Prinzipiell fasst man die Angel am gewünschten Ansetzpunkt und bewegt diese hin und her, während man beobachtet, wo der Fixpunkt ist. Hier liegt jedoch das Problem: Schaut man auf die flache Seite der Klinge, ist der Drehpunkt nicht gut zu sehen. Schaut man auf die Schlagkante, ist der Drehpunkt recht gut zu erkennen, aber man kann hier nichts markieren – das ist notwendig, um den Punkt noch einmal zu überprüfen. Ich benutze daher eine auf die Klinge gezeichnete in Abschnitte unterteilte Mittellinie (vgl. Abb. 24). Damit funktioniert das Auffinden des Punktes mit schrittweiser Verfeinerung recht gut²⁰, wenngleich man etwas Geduld benötigt.

²⁰Weitere Probleme entstanden jedoch, als man mit dem Knauf die Klinge nicht mehr packen konnte. Hier musste ich das Schwert mit dem Ort nach oben balancieren und zugleich nach dem

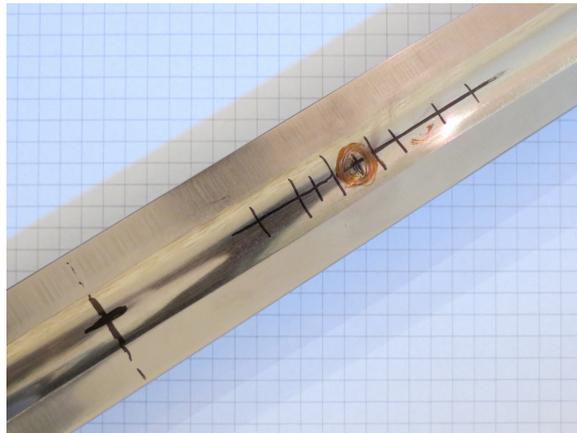


Abbildung 24: Linien zum Auffinden der Drehpunkte

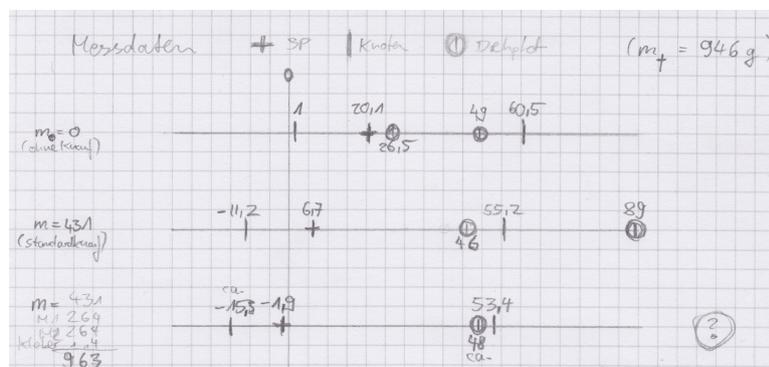


Abbildung 25: Aufzeichnung der Messungen

Wie man auf Abbildung 25 sieht, lagen die Drehpunkte ohne Knauf $26,5 \text{ cm}$ und 49 cm von Null. Mit Knauf sind es 46 cm und 89 cm – damit liegt dieser Drehpunkt fast im Ort und mit der noch fehlenden Griffwicklung wäre dies wohl der Fall – und beim extra-schweren Griff liegt der hintere etwa 48 cm vor Null und der vordere so weit vor der Klinge, dass eine Lokalisierung nicht möglich war.

Man erinnere sich, dass zwischen den Abständen der Ansetzpunkte zum Schwerpunkt und den Abständen der zugehörigen Drehpunkte zum Schwerpunkt ein antiproportionales Verhältnis vorlag – wenigstens beim idealen homogenen Stab. Etwas vergleichbares kann man auch hier feststellen: Je näher der Ansetzpunkt am Schwerpunkt, desto weiter sind die zugehörigen Drehpunkte von diesem entfernt. Aufgrund der komplexen Masseverteilung ist es jedoch ohne weiteres nicht möglich, dieses Gesetz in eine Formel zu packen, schon gar keine einfache.

Statt dessen kann man sich abermals überlegen, was passieren müsste, wenn der Knauf schwerer und schwerer wird: Mit steigender Masse konvergiert der Schwerpunkt, wie bereits gesehen, gegen die Knaufposition $22,7 \text{ cm}$ hinter Null. Die Ansetzpunkte liegen fix 2 cm und $26,5 \text{ cm}$ hinter Null. Somit konvergieren auch die Abstände der Ansetzpunkte zum Schwerpunkt gegen konstante Werte.

Allerdings nimmt die Masse dabei ständig zu und zudem wandert der Schwerpunkt irgendwann in den Griff und damit auf den vorderen Ansetzpunkt zu. Hier bewegt sich der vordere Drehpunkt sehr sehr weit vor das Schwert. In dem Moment,

Drehpunkt Ausschau halten. Artistik pur!

wo der Schwerpunkt der Klinge genau im vorderen Ansetzpunkt liegt, gibt es keinen Drehpunkt mehr. Oder anders betrachtet: Dieser liegt unendlich weit vor der Klinge – aber auch unendlich weit dahinter, denn wenn der Schwerpunkt der Klinge dann hinter den vorderen Drehpunkt wandert, springt der vordere Drehpunkt schlagartig weit hinter das Schwert, um von dort gegen einen vermutlich hinter dem Schwert liegenden Wert zu konvergieren. Deshalb erscheint es mit plausibel, die Bewegung des vorderen Drehpunktes mit einer Hyperbel zu modellieren.

Der hintere Drehpunkt hingegen dürfte von vorne herein gegen einen Wert konvergieren, denn der hintere Ansetzpunkt bleibt stets hinter dem Schwerpunkt. Hier findet irgendwann keine nennenswerte Veränderung mehr statt. Die Masse des Knaufs²¹ wird größer, aber der Schwerpunkt des Schwerts wandert nicht mehr näher an den hinteren Ansetzpunkt heran. Hier nutze ich wieder eine Exponentialfunktion. Analog zum vorigen Vorgehen bei den Schwingungsknoten – nur dass der Vorfaktor nun negativ ist – erhalte ich als Näherung der Interpolation für die Funktion der Bewegung des hinteren Drehpunktes:

$$d_2(m_{\oplus}) = -21,7 \cdot 0,9948^{m_{\oplus}} + 48,2$$

Die Zahl 48,2, gegen die diese Funktion für wachsende Knaufmasse konvergiert, ist rein willkürlich so gewählt, dass die drei Messpunkte möglichst durchlaufen werden, obwohl die Messung fehlerbehaftet sein mag. Die Bezeichnung d_2 erfolgt in Analogie zu den Knoten: Der vordere ist Nr.1, der hintere Nr.2.

Um die Hyperbel zu finden, mit der ich die Position des vorderen Drehpunktes finde, betrachte ich mir zunächst den Punkt genauer, an dem eine Polstelle vorliegt – also den Punkt, an dem der Drehpunkt zugleich unendlich weit in beide Richtungen entfernt liegt bzw. nicht existiert. Das ist wiegesagt dann der Fall, wenn der gesamte Schwerpunkt genau im vorderen Ansetzpunkt liegt, also $2cm$ hinter Null.

Rechnerisch ist der anhand des Modells des Schwerpunktes auffindbar. Da hatte ich $SP(m_{\oplus}) = \frac{m_{\oplus} \cdot (-22,7) + 946 \cdot 20,1}{m_{\oplus} + 946}$ als sehr exakte Formel gefunden. Setzt man für $SP(m_{\oplus}) = -2$ ein und löst die Gleichung nach dem Knaufgewicht auf, erhält man $m_{\oplus} \approx 1010g$ als Polstelle der Hyperbel. Beobachtung: Einer der Messpunkte, der für die extraschwere Masse von $963g$, liegt mit $1,9cm$ hinter Null schon sehr nahe am vorderen Ansetzpunkt und dieser Polstelle. Eine Hyperbel mit Polstelle bei 1010 hat die Form

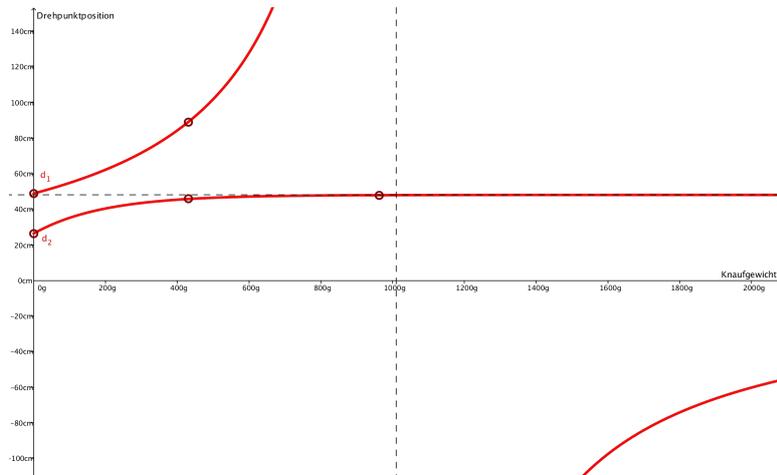
$$d_1(m_{\oplus}) = \frac{a}{x - 1010} + b$$

Weil diese den Messwert $49cm$ für $m_{\oplus} = 0g$ interpolieren soll, folgt aus der Forderung $d_1(0) = \frac{a}{0 - 1010} + b = 49$ der Zusammenhang $b = 49 + \frac{a}{1010} = \frac{49490 + a}{1010}$. Der zweite Interpolationspunkt, der Messwert $89cm$ bei $431g$ in diese Funktion eingesetzt und umgeformt liefert $a \approx -54272,85$. Da es sich ohnehin um eine Näherung handelt, wähle ich jedoch das hierzu nächste Vielfache von 1010 , nämlich $a = -54540$. Damit ist $b = \frac{49490 - 54540}{1010} = -5$. Es folgt:

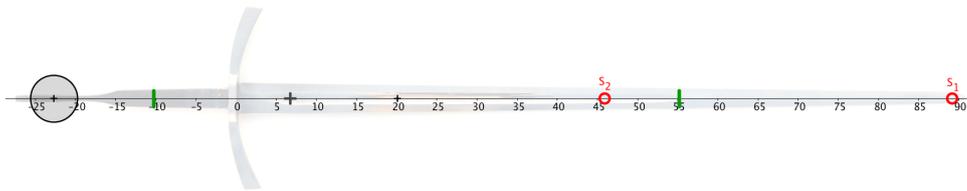
$$d_1(m_{\oplus}) = \frac{-54540}{x - 1010} - 5 = \frac{54540}{1010 - x} - 5$$

Ob der Grenzwert von 5 für sehr große Knaufgewichte realistisch ist, weiß ich nicht. Das Hauptaugenmerk beim Finden dieser Näherungsfunktion lag auf der Interpolation und der Polstelle.

²¹Hier ist es nicht unwichtig, abermals zu erwähnen, dass ich im Modell von einer punktförmigen Masse ausgehe. Dadurch vermeide ich, mir Gedanken über Masseträgheit und Drehmoment machen zu müssen.

Abbildung 26: Die Graphen der Drehpunktfunktionen d_1 und d_2

Schlussendlich liefert mir das die Drehpunkte auf der Klinge:

Abbildung 27: Positionen der Drehpunkte für $m_{\oplus} = 431g$ (rot)

3.4 Resultate

Abbildungen 27 zeigt die relevanten Punkte für den Knauf von 431g Gewicht. Bis hier scheint es sich nur um eine Präzisierung von Abb. 16 (unten) zu handeln. Der hier betriebene Aufwand zur mathematischen Modellierung realer Messwerte rechtfertigt sich jedoch erst darin, dass es nun möglich ist, die *Veränderung* der Positionen von Schwerpunkt, Knoten und Drehpunkten anhand einer Simulation zu beobachten, ohne den immensen Aufwand hunderter von Messungen betreiben zu müssen. Besonders schön kann man sehen, wie die Punkte wandern, wenn man das ganze in Bewegung simulieren kann oder Klingen mit verschiedenen Knaufmassen direkt untereinander legt (Abb. 28).

Abbildung 28 bestätigt noch einmal visuell und auf einen Blick, was ich bereits detaillierter erläutert hatte: Den Schwerpunkt zum Griff hin zu verschieben, ist kein Problem! Die Konsequenzen für die Gesamtmasse, sowie in erster Linie für die Drehpunkte, welche sich für eine sich gut anfühlende Balance verantwortlich zeichnen, sind gravierend. Vor allem der vordere Drehpunkt rast regelrecht über den Ort hinaus, wo er dem Fechter nichts mehr nutzt, weil die Klinge sich in der Bewegung träge verhält.

Hier gilt es sogar – in Abb. 28 von unten nach oben betrachtet –, den Schwerpunkt so weit wie möglich *nach vorne* zum Ort hin zu verlagern. Denn dann sinkt die Gesamtmasse. Der vordere Drehpunkt liegt auf der Klinge – aber bitte am Ort! Auch die Vibrationspunkte und den hinteren Drehpunkt gilt es zu beachten, wobei diese zum Teil auch aus den anderen gut gewählten Parametern resultieren.



Abbildung 28: Ertrag der Bemühungen: Schwerpunkt, Vibrations- und Drehpunkte im fertigen Modell für Knaufgewichte von 0g bis 2000g in 100g-Schritten.

Im Zusammenspiel mit einer guten Masseverteilung kann die Gratwanderung zwischen den gegensätzlichen Parametern gelingen – wobei hier Erfahrung für den Schmied wichtiger sein dürfte als ein mathematisches Modell, wie ich es hier erstellt habe. Für ein erstes Verständnis dieser Punkte hat sich der Aufwand für mich in jedem Fall gelohnt.

4 Proportionen & Design

In diesem Abschnitt gebe ich im Wesentlichen Ideen Peter Johnssons wieder, obgleich ich versuche, diese auf das von mir in dieser Hausarbeit exemplarisch analysierte Schwert zu übertragen und durch eigene Überlegungen zu ergänzen. Neben dem eingangs erwähnten Vortrag, den ich hierzu in Solingen 2013 hören durfte, benutze ich als Quelle [SSSS], sowie die Homepage des Schwertschmiedes [PJ].

4.1 Arithmetik

Im Mittelalter verstand man unter *Arithmetik* nicht genau das gleiche wie heute: Denkt man inzwischen primär an Algebra und Berechnungen, stand damals die Zahlensymbolik im Vordergrund. Es geht nicht um Esoterik, sondern religiös verwurzelte Assoziationen mit Zahlen. Dies geht eng einher mit einer Proportionslehre, wie sie etwa von Baumeistern gotischer Kathedralen praktiziert wurde.

Abbildung 29 zeigt den Grundriss des Freiburger Münsters. Deutlich erkennbar ist die Vierung im Zentrum der Kathedrale. Dieses Quadrat war Grundeinheit für den weiteren Aufbau der gotischen Kirche. Je dreimal passt es in das Hauptschiff

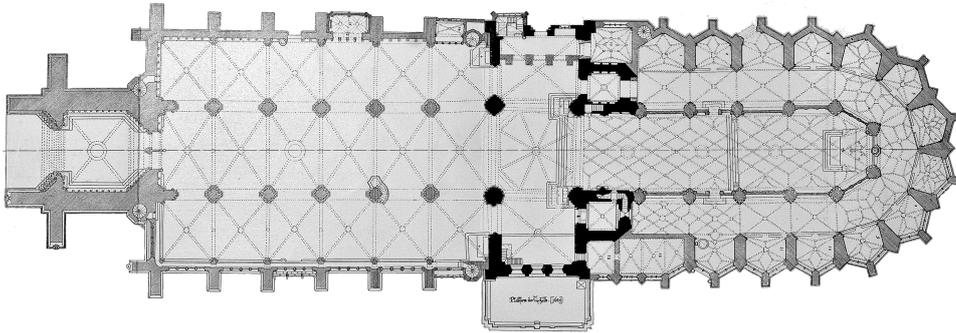


Abbildung 29: Grundriss des Freiburger Münsters, Quelle: [W]

und den Chor. Auch die Seitenkapellen des insgesamt drei Quadrate messenden Querschiffs entsprechen einer Vierung. Sicher kein Zufall: Die Drei symbolisiert die Heilige Dreifaltigkeit.

Auch andere im Grundriss vorkommende Zahlen haben ihre Bedeutung: Die Zahl der Kreuzgewölbe in den Seitenschiffen des Hauptschiffs ist jeweils Sechs, Zahl der Tage der Schöpfung, Symbol der Perfektion. Über der Vierung – vier, die Zahl der Stabilität – erhebt sich ein achteckiger Turm, der übrigens noch von 1330 stammt. Acht, Symbol der Taufe, des Neubeginns, der Wiederauferstehung. Und so geht es weiter. Fünf, Zahl der Wunden Christi; Sieben, Zahl der Sakramente, der Vollendung; Zehn, Zahl der Gebote und des Universums...

Die Baumeister setzten diese Zahlen bewusst ein. Nicht nur an Grundrissen, auch an Fassaden – vor allem der sakraler Bauten – findet man auf Quadraten und Arithmetik basierende Einteilungen. Diese Einteilungen wurden von den Architekten vergangener Epochen absichtlich und bewusst vorgenommen, es sind keine im Nachhinein überinterpretierten Zahlenspielerien.

Es spielt auch keine große Rolle, ob man nun z.B. ein gotisches, ein barockes oder ein Renaissance-Bauwerk betrachtet. Die benutzten Proportionen mögen andere gewesen sein; mal fand man den Spitzbogen schick, mal den Rundbogen; mal baute man in die Höhe, mal in die Breite; mal verwendete man den goldenen Schnitt, mal die Quadratdiagonale als Maß; aber in jedem Fall machte man sich Gedanken über die Proportionen, um bedeutungsvolle Bauwerke ihrer Zeit entsprechend zu entwerfen. Denn die damit verbundene Aussage war den Menschen wichtig; vermutlich wichtiger als uns heute, die wir heute eher in absoluten Dimensionen denken²².

4.2 Proportionen eines Schwerts

Das Schwert war mehr als nur eine Waffe. Es war schon aufgrund seines Preises ein Prestigeobjekt und zeitweise ohnehin dem gemeinen Volk vorenthalten. Es ist Gegenstand zahlreicher Legenden, zuweilen schreibt man besonderen Schwertern übernatürliche Kräfte zu. Das Schwert war und ist bis heute *das* Symbol geistlicher und weltlicher Macht.

Wäre es da erstaunlich, wenn man versucht hätte, aus dem Schwert mehr zu machen, als eine rein funktionale Waffe? Wohl kaum, finde ich. Und das gilt nicht nur für zeremonielle Schwerter – war nicht jedes Schwert etwas besonderes?!

²²Dieses Phänomen zeigt sich schon in der Schule. Auch Kinder, die man jahrelang unterrichtet und denen man Bruchrechnen oder Wurzelziehen selbst beibringt, weigern sich oft, einen Bruch oder eine Wurzel als Zahl anzuerkennen. Sie wollen alles in Dezimalzahlen, in „richtige Zahlen“, umrechnen. Dabei kann ein Bruch oder ein Wurzelterm oft sehr viel schöner das Verhältnis zweier Größen ausdrücken, als die entsprechende Dezimaldarstellung.

Wie viel stärker kann ein christlicher Kämpfer an den Sieg mit Gottes Hilfe glauben, wenn seine Waffe durch göttlichen Zahlensymbolik gesegnet ist, wenn sie selbst Inbegriff seines Glaubens ist? Warum sollte ein Schwertschmied beim Entwurf eines so teuren und bedeutungsvollen Gegenstandes weniger Arbeit in dessen Entwurf setzen, als beim Anfertigen sakraler Gegenstände oder Gebäude? Zumal diese Art der Proportionslehre einem „mittelalterlichen Designer“ geläufig gewesen sein dürfte. Warum sollte er willkürliche Maße nehmen, wenn er dem Schwert Schönheit und Reinheit einhauchen kann? Göttlichkeit in Form schöner Proportionen!

Peter Johnsson hat zahlreiche Schwerter vermessen und ihre Proportionen studiert. Dabei ist er sich des „Dan Brown - Effekts“, wie er ihn selbst nennt, bewusst: Wenn man nur lange genug nach Mustern sucht, findet man sie auch. Vor diesem Hintergrund ist er bemüht, die Proportionen zu finden und zu verstehen, die auch wirklich hinter dem Design der Schwerter liegen könnten. So wie bei Kathedralen die Vierung das Basiselement darstellt, ist es bei Schwertern der Schnitt zweier Kreise und das Quadrat, dem einer dieser Kreise einbeschrieben ist, welcher sich als Grundlage zahlreicher Funde eignet (vgl. Abb. 30).

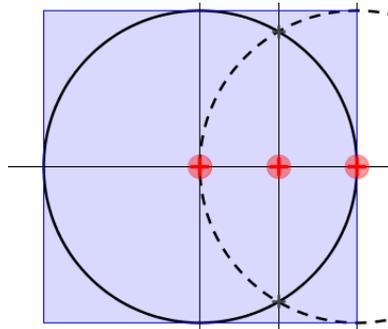


Abbildung 30: Grundlage zahlreicher Proportionsstudien

Viele Schwerter lassen sich bezüglich der Position der Parierstange in eine der drei Varianten einfügen: Die Parierstange kreuzt die Klinge in der Mitte des ersten Kreises (vor allem frühmittelalterliche Einhandschwerter), die Parierstange kreuzt die Klinge auf Höhe der Kreisüberschneidungen²³, oder die Parierstange kreuzt die Klinge am rechten Rand des ersten Kreises (vgl. Abb. 31). Soweit wäre das natürlich mit jedem Schwert in allen Varianten machbar. Der Unterschied besteht vor allem auch im Verhältnis von Klinge zu Griff, Breite der Parierstange zu Grifflänge, aber zuweilen auch in Details wie Breite der Klinge oder sogar Dicke der Parierstange.

Wohlbermerkt geht es nicht darum, die Schwerter in eine der drei Masken zu pressen, sondern zu schauen, ob eines der Schemata auf das vorhandene Schwert zutrifft. Der Grat zwischen dem Finden vermutlich beabsichtigter Proportionen und aufgezwungenen Mustern scheint schmal; wenn man jedoch überlegt, welche der Konstruktionen sich auf natürliche Weise ergeben, sieht es nicht mehr ganz so willkürlich aus.

Zudem muss man bedenken, dass bei solchen Konstruktionen sehr schnell zahlreiche Kreise und Linien entstehen, wo im Grunde sehr simple Operationen dahinter stehen. Die großen Kreise in Abb. 31 stehen schlicht für eine Unterteilung der Schwertlänge in gleichlange Abschnitte. Jede Mittelsenkrechte bedarf zweier Kreise. Will man die Zahl $\sqrt{2}$ oder $\frac{1}{\sqrt{2}}$ konstruieren, welche natürlich aus der Diagonalen bzw. halben Diagonalen eines Quadrates hervorgeht, braucht man in Quadrate ein-

²³Im Englischen heißt diese *Vesica*. Zu deutsch wörtlich *Linse*. Ein schöneres deutsches Wort ist mir nicht eingefallen. Vielleicht noch *Schnittmenge*, aber das kommt eher aus der Mengentheorie.

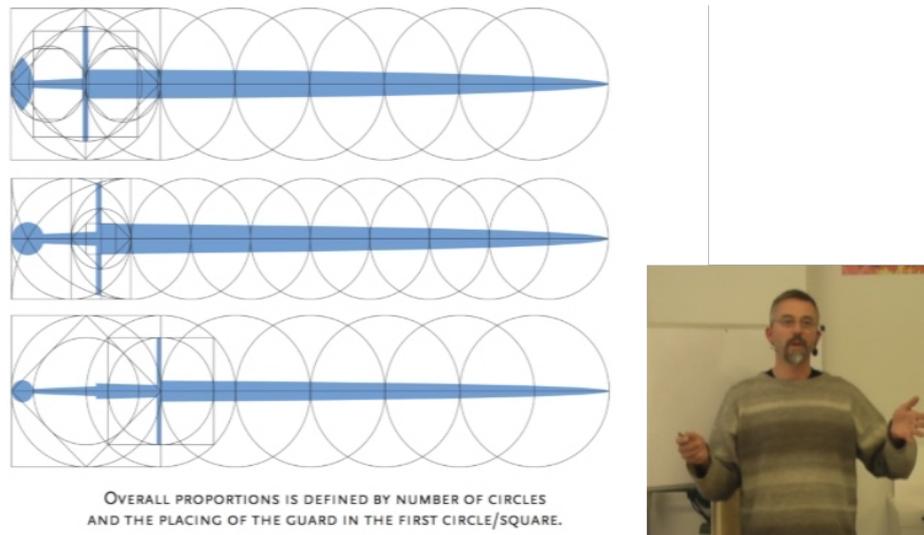


Abbildung 31: Bildschirmfoto aus [SSSS]. Man beachte: Die dargestellten Schwerter haben verschiedene absolute Größen. Sie werden hier gleich lang dargestellt, da es hier lediglich um ihre Proportionen geht! (Rechts: Peter Johnsson)

beschriebene Rauten (Quadratrose). Um eine Größe an andere Stelle zu übertragen bedarf es weiterer Kreise. Spitzbogenkonstruktionen, Rosetten und regelmäßige Vielecke gehören zum Standardrepertoire der Gotik ...

Ich bin noch nicht sicher, inwieweit man Details wie die Dicke der Parierstange als vom „Baumeister“ des Schwertes konstruiert betrachten sollte, doch im Ganzen halte ich die Theorie für plausibel. Jedoch räumt Peter Johnsson ein, dass er selbst in diesem Bereich noch mitten in der Forschung steckt – zumal so etwas, seiner eigenen Aussage nach, in der Schwertforschung noch nicht gemacht wurde. Tatsache: Das Konzept funktioniert. Und zwar so gut, dass es ihm z.B. gelang, die Länge eines Schwertes anhand solcher Proportionsstudien zu rekonstruieren, obwohl der vordere Teil der Waffe fehlte.

Trotz der immer wieder auftauchenden Grundschemata (s. Abb. 31) scheint jedes Schwert in seinen Details einmalig zu sein. Dies mag der Fall sein, wenn diese doch nicht konstruiert worden sein sollten. Plausibel erscheint aber ebenfalls, dass jedes Schwert seiner Zeit, seinem Besitzer und seinem Zweck entsprechend gestaltet wurde. Ein Schwert für einen Kreuzritter hat einen anderen Zweck – die Verteidigung des Glaubens –, als ein Schwert für die Schlacht, ein Schwert für Gottesurteile oder ein Richtschwert. Dementsprechend ist es absolut sinnvoll, verschiedene Zahlensymboliken einfließen zu lassen.

Schwerpunkt, Vibrationspunkte und Knoten scheinen übrigens nicht in diese Schemata zu passen. Da sie allerdings auch nicht sichtbar sind, beeinflussen sie das Design nicht direkt. Ebenso hat Peter Johnsson noch nicht herausgefunden, ob es auch für andere Zeiten und Kulturen (z.B. die Wikinger) ebenfalls Zusammenhänge zwischen den Proportionen ihrer Waffen und ihrer Kultur und Religion gegeben hat. Diese und weitere Fragen sind noch offen.

Ich noch einmal betonen, dass meiner Meinung nach die Funktion des Schwertes wohl im Vordergrund gestanden und den Rahmen abgesteckt hat, in dem über Proportionen nachgedacht werden konnte. Man macht die Klinge nicht 20cm länger, nur weil dadurch die Zahl der Apostel den Abschnitten entspricht und nimmt in Kauf, dass man damit nicht mehr fechten kann. Aber über 2cm kann man nachdenken. Hat man die Möglichkeit, innerhalb gewisser sinnvoller Grenzen ein Schwert

von Grund auf zu planen, lassen sich mit geeigneter Masseverteilung, Knaufgewicht, etc. und Erfahrung tatsächlich gewisse gewünschte Proportionen berücksichtigen.

4.3 Anwendung

Zum Schluss versuche ich mit den Ansätzen Peter Johnssons zu prüfen, ob mein Schwert aus Kapitel 3 in eine der Kategorien (vgl. Abb. 31) passt.

Der Sinn dessen darf in Frage gestellt werden, denn es war womöglich nicht Intention der tschechischen Schmiede, dieser Trainingswaffe sakral bedeutungsvolle Proportionen zu verpassen. Sollte man sich jedoch an historischen Vorbildern orientiert haben, ist es durchaus möglich, dass hier solche Proportionen zu finden sein werden. Ich schaue, ob eines der Grundschemata (vgl. Abb. 30) zum Erfolg führt.

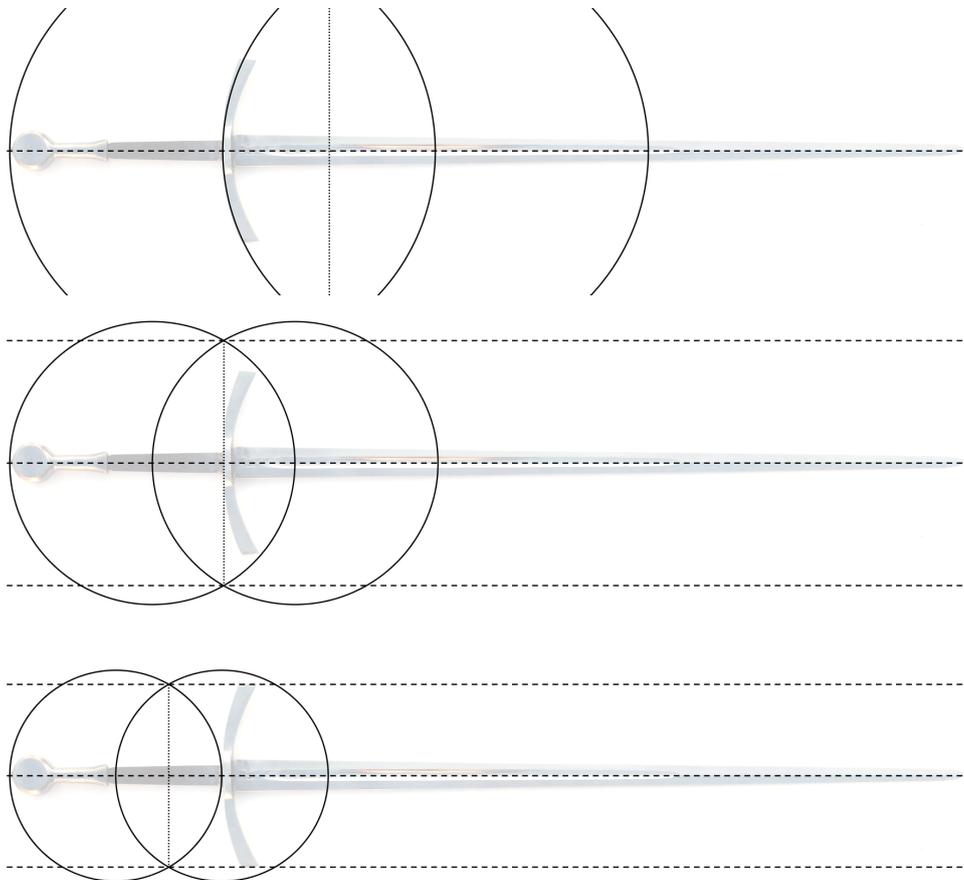


Abbildung 32: Untersuchung der Basiskonstruktionen.

Die Parierstange in der linken Kreismitte scheint uninteressant (vgl. Abb. 32). Zwar bildet der Kreis schön die Kurve der Parierstange nach – was man sich merken sollte – aber die Breite der Parierstange hat keinen Bezug zu dieser Konstruktion. Ebenso, wenn die Parierstange in der Mitte des Schnittbereichs der Kreise liegt. Im dritten Bild jedoch, wenn die Parierstange am rechten Rand des ersten, bzw. in der Mitte des zweiten Kreises liegt, entspricht die Breite der Parierstange genau der Höhe des Schnittbereichs! Und noch mehr:

Unterteilt man die restliche Klinge mithilfe weiterer gleich großer Kreise in Ab-

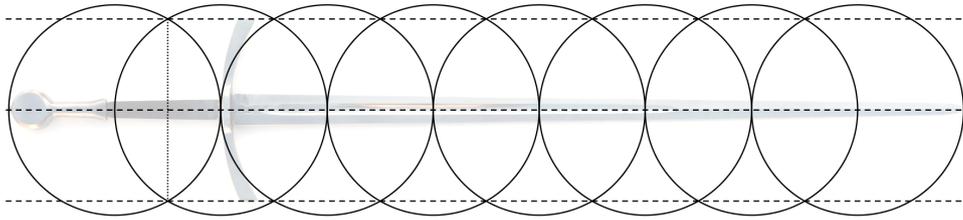


Abbildung 33: Unterteilung der Klinge in 9 Abschnitte.

schnitte, entstehen exakt²⁴ acht Kreise bzw. neun Abschnitte, sieben davon auf dem Blatt und zwei im Gehilz (vgl. Abb. 33).

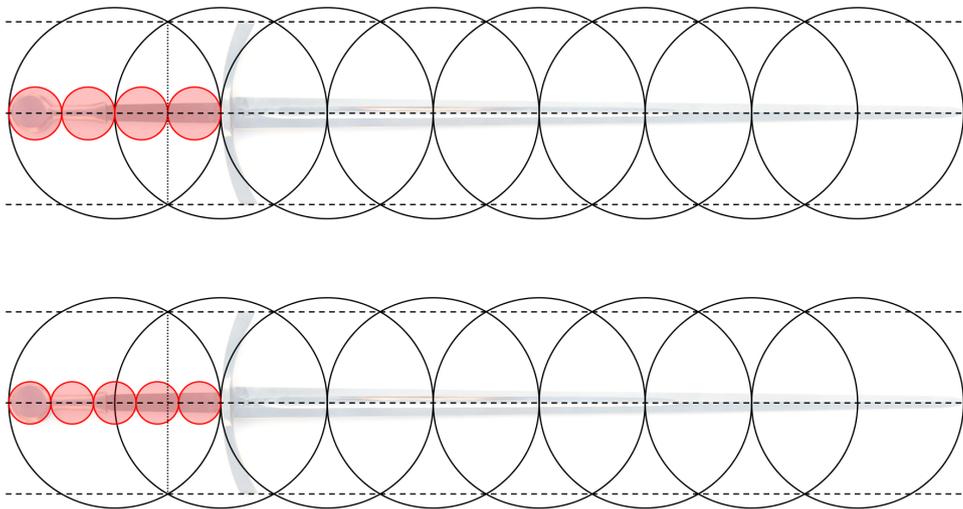


Abbildung 34: Analyse des Griffbereichs

Weiter betrachte ich mir den Griff (vgl. Abb. 34). Eventuell macht eine Unterteilung in vier gleiche Abschnitte Sinn. Doch nein, hier ist kein Bezug zum Knauf zu erkennen. Anders bei einer Unterteilung in fünf Abschnitte. Der hinterste Kreis entspricht dem Umfang des Scheibenknaufs! Dies erscheint wiederum willkürlich, da man sich die Zahl der Unterteilungen aussuchen kann. Aber man bedenke: Es hätte auch sein können, dass der Scheibenknauf einen nicht-ganzzahligen²⁵ Anteil an der Grifflänge hat. Zuletzt kann man noch entdecken, dass ein Kreis um die mittleren fünf Segmente der Krümmung der hinteren Parierstangenkante entspricht (vgl. Abb. 35).

Jedoch ist das Schwert keineswegs perfekt: Die Innenkante der Parierstange liefert *keinen* zu den bisher gefundenen Verhältnissen passenden Kreis. Auch die Länge der Hohlkehle, die Länge des Rohrstücks am Scheibenknauf oder die Breite der

²⁴Zugegeben, hätte ich den ersten Kreis so groß gemacht, dass er bis an die Vorderkante der Parierstange gereicht hätte, hätte dies nicht geklappt. Aber ich habe auf die Breite der Parierstange geachtet, und hier ergab sich eben, dass der Kreis bis zur hinteren Kante der Parierstange reicht.

²⁵Mit Kommazahlen wäre man hier wohl auch zum Ziel gekommen. Aber die Frage ist ja, ob es auch mit schönen ganzzahligen Zahlenverhältnissen funktioniert.

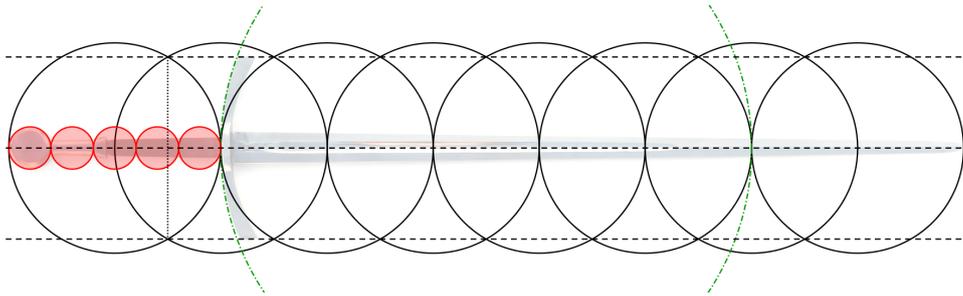


Abbildung 35: Krümmung der Parierstange

Klinge konnte ich nicht ohne weiteres konstruieren.

Das mag daran liegen – und dies halte ich für wahrscheinlich –, dass solche Dinge nicht bei der Herstellung bedacht wurden. Oder es liegt daran, dass meine Proportionsstudie falsch ist. Wie auch immer, das Beispiel illustriert, dass keineswegs jedes Schwert in allen Details in ein Schema gepresst werden kann.

Interpretiert man die gefundenen Proportionen, so spielen die Zahlen 5, 7 und 9 hier eine besondere Rolle. Genauer, die Unterteilung:

$$\underbrace{\frac{2}{45} + \frac{2}{45} + \frac{2}{45} + \frac{2}{45} + \frac{2}{45}}_{\frac{2}{9}} + \underbrace{\frac{1}{9} + \frac{1}{9} + \frac{1}{9} + \frac{1}{9} + \frac{1}{9}}_{\frac{5}{9}} + \underbrace{\frac{1}{9}}_{\frac{2}{9}}$$

$$\underbrace{\hspace{15em}}_1$$

Fünffacher Schutz, Sieben Tugenden, die dreifache Dreifaltigkeit... je nach Interpretation würde es sich hier durchaus um ein Schwert handeln, das ein tugendhafter Kämpfer mit dem Schutz und Segen Gottes im Kampf führen möchte.

5 Schlusswort

Wem nun der Kopf schwirrt, vor Theorie, vor Masseverteilung und Querschnitten, vor vibrierenden, sich drehenden und wandernden Punkten, vor Kreisen und Linien und Rechnerei, der sei getröstet: all dies kann man wissen. Muss man aber nicht.

Wie gesagt, man wird kein besserer Fechter – glücklicherweise auch kein schlechterer –, wenn man sich mit einem Thema wie diesem befasst. Man kann jedoch einen tieferen Verständnis dafür erreichen, was genau Ursache für gute Balance oder Schönheit eines Schwertes sein mag. Vielleicht ertappt man sich ja dabei, vor dem Waffenstand am nächsten Mittelaltermarkt die Drehpunkte der Waffen auszutesten.

Ich bin sehr gespannt, wie es weiter geht, mit der Schwertforschung. Mit der Peter Johnssons, aber auch mit meiner eigenen. Denn sicher werde ich das Thema weiter verfolgen, die Mathematik hinter den Zusammenhängen begreifen wollen, meinen Schülern das Thema schmackhaft machen, Fehler in dieser Hausarbeit erkennen und verbessern, ein zu mir passendes perfektes Schwert entwerfen ... und womöglich irgendwann einmal selbst ein Schwert schmieden. \square

Quellenverzeichnis

- [TL] Thomas Laible
Das Schwert Mythos und Wirklichkeit
Wieland Verlag GmbH
1. Auflage 2006
- [CS] DVD – Arctic Fire 2012
Fiery Beards Productions, LLC
Vortrag: Peter Johnsson – Craft of the Sword
- [SSSS] DVD – Arctic Fire 2012
Fiery Beards Productions, LLC
Vortrag: Peter Johnsson – Secret Seal of the Sword Smith
- [PJ] Homepage von Peter Johnsson
<http://www.peterjohnsson.com/category/notebook/>
- [DKS] Deutsches Klingmuseum Solingen
Dauerausstellung zur Herstellung eines Schwertes
Aufschrift der bebilderten Tafeln
- [A] Homepage von *Albion Swords*
<http://www.albion-swords.com/articles/oakeshott-typology.htm>
- [W] Wikipedia
<http://de.wikipedia.org/wiki/Gotik>
- [SST] Sword-Site.com Tumblr
<http://swordsite.tumblr.com/post/110745320120>
- [ADF] *Albrecht Dürers Fechtbuch. Von Friedrich Dörnhöffer.*
Jahrbuch der Kunsthistorischen Sammlungen des Allerhöchsten Kaiser-
hauses [Hrsg.], Band XXVII, II. Teil – Wien, 1909
Digitales Faksimile der Universitätsbibliothek Heidelberg:
http://digi.ub.uni-heidelberg.de/diglit/jbksak1907_1909/0305

