



Knoten

Von Susanne Paulsen (TEXT) und Horst A. Friedrichs (FOTOS)

Sie sind äußerst praktisch und wunderschön. Aber wer glaubt, nur Segler, Bergsteiger und fingerfertige Enthusiasten wüssten Knoten zu schätzen, der irrt gewaltig. Die kunstvollen Verschlingungen fesseln Mathematiker genauso wie Biologen. Sie sind geradezu ein Naturprinzip. Denn der Materie wohnt die machtvolle Tendenz inne, sich zu verheddern

Im Hafen von Ipswich, gut 100 Kilometer nordöstlich von London, schlägt der Ostwind die Takelage der Segelyachten gegen die Masten. Noch hinter dem Backsteinhaus an der Wherstead Road 501 ist das leise Klirren und Pochen zu hören. Auf dem Grundstück wurden im 19. Jahrhundert Schiffe repariert. Heute blühen hier Stauden und Apfelbäume. Des Pawson, ein Mann mit ausladendem grauem Bart, steht in einem schmalen Schuppen, in dem er der Geschichte seines Gartens huldigt. Und der Geschichte der gesamten britischen Seefahrt gleich mit.

Denn was hielt früher alles zusammen? Was war die Fertigkeit, ohne die kein Segel gehisst, kein Anker geworfen werden konnte? Die Kunst, ohne die sich Matrosen zu Tode gelangweilt hätten in den endlosen Wochen auf See?

Das Knoten.

„Ich habe nur eine Botschaft“, sagt Pawson, „nehmt es endlich ernst.“ Und wenn der Gesprächspartner dann verwirrt lächelt angesichts der Liebe im Gesicht dieses alten Mannes, angesichts seiner sanft über ein dreischäftiges Manilaseil streichenden Hand, dann zählt Pawson sofort Argumente auf: die menschheitsgeschichtliche Bedeutung der Knoten. Ihren Formenreichtum. Ihre Funktionalität. Ihre Schönheit. Die zweifache Symmetrie des Boa-Knotens, zum Beispiel, oder die sich überkreuzenden Doppel-Linien des Türkischen Bundes.

Pawsons Trumpf aber ist schwer zu verstehen für eher praktisch veranlagte Zuhörer: die Knoten-Mathematik. Ein Kontinent des Komplizierten!

Dessen Erforscher beschäftigen sich mit dem Wesen der Atome



Des Pawson sammelt leidenschaftlich alles, was mit Knoten zu tun hat. Wie dieses Buch von 1888

und der DNS, dem fädigen Molekül, das den Code des Lebens trägt. Ihr Gebiet ist überwuchert von Formeln und Zahlen, stellenweise undurchdringlich für den menschlichen Verstand. Ein Dorado für einige der klügsten Köpfe unserer Zeit. Weshalb 1990 und 1998 sogar Fields-Medaillen, so etwas wie der Mathematik-Nobelpreis, an Knotentheoretiker verliehen wurden. Pawson hat vor Jahren einmal mit einem der Preisträger geplaudert: Vaughan Jones von der Berkeley-Universität versuchte dabei, dem Mann aus Ipswich seine „Jones-Invariante“ begreiflich zu machen. Es hat nicht geklappt; zu unterschiedlich sind die Welten der beiden Knotenfreunde.

In seiner Welt der greifbaren, vom erdig-süßen Geruch der Hanffasern durchtränkten Knoten knotet Pawson bis zu 18 Stunden am Tag. Er lebt schließlich davon, verkauft zum Beispiel „Affenfäuste“: kugelförmige, als Türstopper verwendbare Tau-Skulpturen. Keine Maschine bekommt so etwas derart gleichmäßig hin. „Führe ich nicht ein wunderbares Leben?“, fragt Pawson, greift ein Seil aus Hanf, beginnt an ihm herumzufingern, arbeitet zügig, überkreuzt, fädelt durch und zieht die Enden fest. Ein runder Walker-Knoten sitzt nun mitten auf dem Seil. Eine Verbindung scheint aber nicht zu bestehen. Wie hat Pawson das gemacht? Und: Wie bekommt man so etwas wieder auf?

SOLCHE FRAGEN sind ungefähr so alt wie die ersten bewusst gebundenen Knoten. Also so alt wie die Menschheit. Denn schon vor über 200 000 Jahren stellten Neandertaler vermutlich Perlenketten her; man hat in ihrer Hinterlassenschaft einen durchbohrten Wolfszahn und ein kleines Knochendreieck mit Loch gefunden. Vielleicht waren solche Ketten einst aufgefädelt und mit Knoten gesichert. Welcher Art die Knoten der Urzeit waren, ist unbekannt. Doch warum sollten die damaligen Menschen sich damit zufriedengegeben haben, bloß Überhandknoten zu binden –

jene einfachen Verschlingungen, mit denen Schleifen beginnen?

Denn auch die steinzeitliche Technologie kam nicht ohne Knoten aus. So wichtig waren sie, dass Experten mitunter scherzhaft sagen, man könne ebenso gut von der „Schnurzeit“ sprechen: Geknotete Sehnen hielten Feuersteinäxte und Bögen zusammen. Sie ermöglichten die Konstruktion von Pfahlbauten. Nur wer Knoten beherrschte, konnte die Ränder von Webstücken sichern oder Fischnetze knüpfen.

Unversehrt erhalten sind einige der Überhandknoten, die „Örtzi“ vor mehr als 5000 Jahren verwendete: Die Gletschermumie hatte eine kleine, gelochte Marmorscheibe bei sich, durch die ein Fellriemen gezogen war. Der Riemen

WAS DIE INKA IN SCHNÜRE KNÜPFTEN, IST BIS HEUTE NOCH NICHT VÖLLIG ENTZIFFERT

war zu einer Schlaufe gebunden, an der weitere geknotete Fellriemen hingen.

Weit komplizierter verknotete Schnüre verwendeten viel später die Inka. Mit ihrer bis heute nicht vollständig entzifferten Knotenschrift speicherte das Indianervolk im 13. bis 16. Jahrhundert etwa Informationen darüber, welche Arbeitsdienste einzelne Bürger für ihren Herrscher zu leisten hatten.

Die gewieftesten Knotenexperten Europas schließlich waren bis zum Ende der Segelschiff-Ära im 20. Jahrhundert die Seeleute. Um besonders geschickte Knüpfer rankten sich Geschichten. Der legendäre Matthew Walker etwa, der wohl Takelmeister auf einer britischen Schiffswerft war, wurde



Sein Leben hängt am Seil: In seinem schmalen Schuppen (unten) knüpft Des Pawson bis zu 18 Stunden am Tag und verdient damit seinen Unterhalt. Unter seinen Händen entstehen Tau-Skulpturen wie der Kronen-Knoten (oben), so gleichmäßig, wie keine Maschine es schafft

Die Symmetrien, die sich in Knoten verbergen, geben diesen eine spezielle Ästhetik; auch wenn ihr Nutzwert im Vordergrund steht: Die »Affenfaust« (oben) eignet sich als Türstopper, Fender (unten) kommen als Stoßdämpfer für Boote zum Einsatz



zum Tode verurteilt. Glücklicherweise für ihn war auch sein Richter Seemann gewesen. Er stellte Walker Gnade in Aussicht – falls der einen Knoten knüpfe, den der knotenkundige Richter weder binden noch aufbinden könne.

Walker erbat sich 20 Meter Tau. Und in der Stille seiner Zelle fertigte er jenen merkwürdigen Knoten, mit dem Des Pawson noch heute Zuschauer verblüfft: Im endlosen Reigen scheinen sich die Stränge, aus denen der dicke Wulst besteht, um den Rest des Hanfseils zu winden. Keine Schlinge lässt sich aufziehen, kein loses Ende entdecken.

Walker wurde freigesprochen. Ob er seinem Richter seinen Trick verriet – nämlich das Tau zur Hälfte aufzudrehen, aus den dadurch freigelegten drei Kardeelen einen doppelten Taljereepsknoten zu schlagen und sie dann wieder zusammenzudrehen –, ist nicht überliefert.

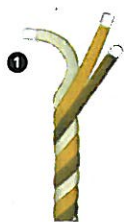
Aufgeschrieben hat diese Geschichte Clifford Ashley, Pawsons großes Idol. Der US-amerikanische Seemann und Maler befragte in der ersten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts Matrosen und Metzger nach ihren Knoten. Er schaute Schuhflechtern auf die Finger. Turmdeckern, die sich per Seil absicherten. Lastwagenfahrern beim Vertäuen der Ladung, Strandräubern beim Abtransport der Beute.

Und 1944 ließ er „The Ashley Book of Knots“ drucken. In dem bis heute erhältlichen Werk sind 3854 Knoten verzeichnet. Dass etliche davon mehrfach unter verschiedenen Namen aufgeführt sind, verzeihen wahre Ashley-Fans großzügig – bei zwangsläufig verworrenere Materie kommt so etwas vor. „Wow“, „unmöglich“, „sagenhaft“, kommentieren heutige Leser das Buch im Internet.

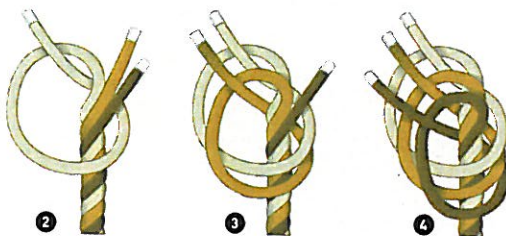
Matthew-Walker-Knoten

Ein Knüpfwerk, um den Kopf aus der Schlinge zu ziehen

Dieser Knoten hat seinem Erfinder das Leben gerettet. Als Matthew Walker zum Tode verurteilt wurde, stellte der Richter Gnade in Aussicht, wenn es dem Verurteilten gelänge, einen Knoten zu knüpfen, den der Richter nicht aufbekäme. Heute wird das Kunstknüpfwerk dazu verwendet, um einen Handgriff in ein Trageseil zu binden, oder das Ausfransen eines Seils zu verhindern.



1 Erst muss das Tau von einem Ende her zu einem Teil aufgedreht werden, um die drei Kardeele, aus denen das Tau besteht, einzeln freizulegen.



2 3 4 Diese losen Enden werden nun nacheinander mit sich selbst verschlungen. Das erste Ende wird nur durch die erste Schlaufe, das zweite durch die ersten beiden und das dritte durch alle drei Schlaufen gezogen.



5 Damit ein gleichmäßiger Knoten entsteht, müssen die Schlingen reihum nach und nach in mehreren Durchgängen fester gezogen werden.



6 Am Ende werden die freien Kardeele erneut verdrillt. Der Knoten lässt sich nicht mehr aufziehen und ist sogar für Experten schwer zu „lesen“.

Des Pawson ist also keineswegs allein mit seiner Leidenschaft. Und mit seiner Marotte, immer ein Stück Schnur in der Tasche zu tragen – um gewappnet zu sein für den Tag, an dem ihm ein völlig neuer Knoten einfällt, der seinen Namen tragen wird. Alle Mitglieder der 1982 von Pawson mitgegründeten „International Guild of Knot Tyers“ hegen diesen Traum. Mehr als 1000 sind es inzwischen, von Anchorage, Alaska, bis ins neuseeländische Hutt-City. Sie empfinden sich als innersten Zirkel der Knotenfreunde. Und wissen doch, dass sie nur deren fingerfertige Teilmenge darstellen. Denn außerhalb der Gilde treiben ohne jedes physische Seil und völlig schnurlos ein paar Hundert wissenschaftliche Knotenforscher die Verhedderung im Virtuellen auf die Spitze.

DASS ANDRZEJ STASIAK zu den Knotenexperten zählt, wird sofort deutlich, als er das struppige Seil mit Pawsons Matthew-Walker-Knoten erblickt. Der gebürtige Pole ist Biologe an der Universität Lausanne – und der Knubbel Seil in seiner Hand scheint ihn zu elektrisieren. Seine Muskeln spannen sich an, die Augen glänzen: „Was ist das?“ Unruhig betrachtet er den Knoten, versteht Sekunden später den Trick und ist zufrieden. „Ein Knotengehirn“ habe der 53-Jährige, sagen seine Kollegen – eines, dem verschlungene Fäden so vertraut seien wie Gesichter.

Diese Fähigkeit hat Stasiak nicht etwa in einer idyllisch gelegenen Knotenwerkstatt voller Seile ausgebildet, sondern in fensterlosen Kammern mit Elektronenmikroskop am „Zentrum für Integrative Genomforschung“. Er ist Experte darin, Knoten in der DNS, dem Erbfaden, zu analysieren.

„Für alles Lange, Biegsame ist es schwer, nicht verknotet zu sein“, erklärt Stasiak. „Das gilt auch für die fädigen DNS-Moleküle.“ Er lächelt dabei; ihm scheint diese der Materie innewohnende Tendenz zu gefallen. Forscher haben sie oft im Experiment untersucht: mit hängenden Metallketten, die sie geschüttelt haben. Mit Schnüren in rotierenden Plastikboxen. Bei diesen Versuchen bildeten sich oft so komplexe Knoten, dass selbst die Experten erstaunt waren.

Die DNS in den Zellen von Lebewesen weist jedoch eher wenige Knoten auf. Verheddertes Erbgut würde die Lebensvorgänge, etwa bei der Zellteilung, empfindlich stören. Und genau für diese bemerkenswerten Knotenarmut unseres Erbgutes interessieren sich Stasiak und seine Kollegen: Wie bekommen lebende Zellen das hin? Entwirren sie ihre DNS mithilfe von Enzymen? Oder verhindern sie die Knotenbildung von vornherein, etwa durch sinnvolles „Zusammenpacken“ der Erbsubstanz?

Was den Biologen zu immer neuen Knotenknobeleyen treibt? Stasiak zuckt mit den Schultern. Sie hat ihn einfach gepackt, die Knoten-Wissbegierde. So wie sie seit gut 150 Jahren immer wieder Wissenschaftler fesselt.

EINER DER ERSTEN war der britische Physiker William Thompson, der später als Lord Kelvin berühmt wurde. Im Jahr 1867 entwickelte er die Theorie, dass Atome aus Wirbeln im Äther bestünden – jenem geheimnisvollen Medium, das nach Meinung der Gelehrten den Raum erfüllte. Die Tatsache, dass es verschiedene Atome gibt, erklärte Thompson knotenkundlich: Die Wirbelringe seien auf unterschiedliche Weise mit sich selbst verschlungen.



Eine Takelage in der Tradition der Seeleute entsteht

Die Theorie trieb etliche Zeitgenossen Lord Kelvins dazu, über Knoten nachzudenken. Etwa den schottischen Physiker Peter Guthrie Tait. Er machte sich daran, zwei Grundfragen zu klären: Welche geschlossenen, in sich selbst verknoteten Raumkurven gibt es überhaupt? Und wie sehr müssen sie verknotet sein, damit jedem der damals knapp 70 bekannten chemischen Elemente ein eigener Knoten zugeordnet werden kann?

In, wie er selbst schrieb, „absolut endloser“ Arbeit erstellte der Physiker eine Tabelle, in der verknotete Kreise systematisch angeordnet sind. Sie beginnt mit einem einfachen Ring, mathematisch ausgedrückt: dem „Unknoten“. Dann folgt ein Kreis, der sich dreimal mit sich selbst überkreuzt. Von diesem Typus, fand Guthrie Tait, existierten nur eine Form und ihr Spiegelbild, der rechts- und linkshändige „Kleeblattknoten“.

Vier Überkreuzungen ergeben den Achterknoten, der einer Brezel ähnelt. Auch er lässt sich nur auf eine einzige Weise konstruieren. Vom fünffach überkreuzten Knoten gibt es bereits zwei Varianten. Sie lassen sich nicht ineinander verwandeln, egal wie man den gedachten Seilring im Raum bewegt. Dreierlei sechsfach überkreuzte Knoten gibt es. Siebenfach überkreuzte Knoten existieren in siebenfacher Ausführung, achtfach überkreuzte in 21-facher. Mit der Zahl der Überkreuzungen steigt die Zahl der möglichen Knoten rapide an. Ob hinter dem Anstieg eine Gesetzmäßigkeit steht, ist bis heute nicht geklärt.

251 Knoten mit bis zu zehn Kreuzungspunkten katalogisierte Tait – dann übergab er die Aufgabe an einen Kollegen. Wegen Arbeitsüberlastung. Gut zwei Jahrzehnte lang hoffte der Physiker, mithilfe seiner Tabellen den verschiedenen Atomen Knoten zuordnen zu können. Dann wurde das Elektron entdeckt und die Idee des Äthers widerlegt. Die Theorie der Wirbelatome hatte sich mit einem Mal erübrigt.

Für Tait war das eine riesige Enttäuschung. Er hatte längst sogar das menschliche Bewusstsein, Geist und Seele, auf Wirbelkonfigurationen zurückführen wollen. Und viele Theologen hatten diese Spekulationen diskutiert. Denn Knoten sind offenbar ideale Symbole: seil- und fadengewordene Rätsel, jedem aus Erfahrung bekannt und als Platzhalter für Unsagbares seit Jahrtausenden bewährt.

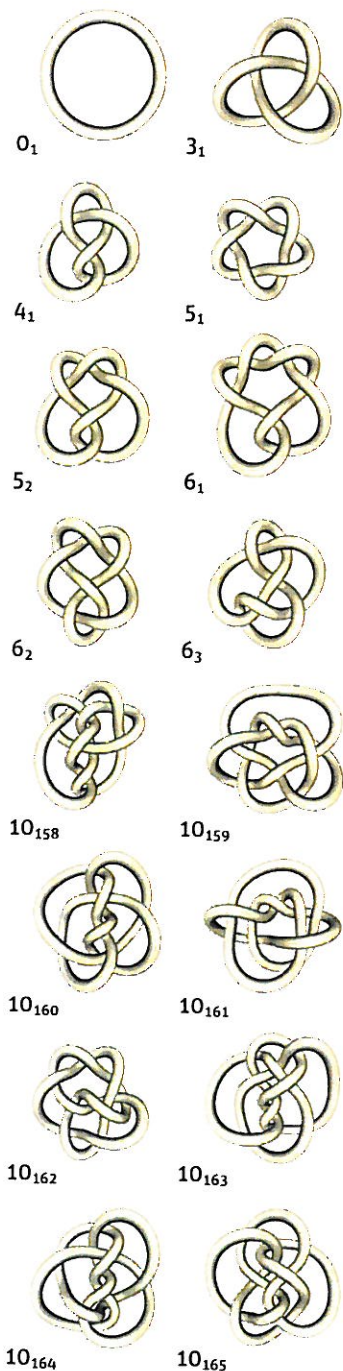
In Religionen, etwa dem tibetischen Buddhismus, stehen Knoten für den unauflösbaren Zusammenhang aller Dinge. Weltweit werden sie als Hochzeits- und Liebeszeichen verwendet. War es der hohe Symbolwert der Knoten, der die Mathematiker und Physiker bei der Stange hielt? Oder einfach die schiere Komplexität?

SEIT LORD KELVIN und Peter Guthrie Tait gab es immer Wissenschaftler, die sich auch ohne Hoffnung auf ein Weltmodell der Knotenforschung widmeten. Sie katalogisierten weiter, tun es bis heute: 6 217 553 258 verschiedene Knoten mit bis zu 22 Kreuzungen wurden inzwischen festgehalten. Es sind mathematische Knoten,

LORD KELVIN GLAUBTE, ATOME BESTÜNDEN AUS VERSCHLUNGENEN WIRBELN IM ÄTHER

das heißt: Erstens bestehen sie aus einer gedachten Linie, unendlich dünn, unendlich geschmeidig. Zweitens sind die beiden Enden dieser Linie miteinander verbunden – es handelt sich also um in sich verdrillte Ringe.

Fachleute arbeiten seit gut einem Jahrhundert daran, solche Knoten in die Sprache der Mathe-



Mathematiker klassifizieren Knoten anhand der Zahl der Kreuzungen. Von Knoten mit null, drei und vier Kreuzungen existiert jeweils nur eine Variante. Dann steigen die Verschlingungsmöglichkeiten rasch an: Es gibt zwei Knoten mit fünf Kreuzungen, drei mit sechs und 165 mit zehn Kreuzungen. Von diesen sind hier nur die letzten acht abgebildet

matik zu übersetzen. Sie suchen nach sogenannten Knoten-Invarianten. Das sind Formeln, die zu einem Knoten gehören – und zwar nur zu ihm: Sie sollen sich eindeutig aus dem Knoten ableiten lassen, egal, in welcher seiner vielen möglichen Formationen er vorliegt. Umgekehrt soll man aus den Formeln exakt auf den ursprünglichen Knoten schließen können – und nicht etwa mehrere verschiedene Knoten herausbekommen können.

Regelrecht verbissen haben sich die Knotentheoretiker in diese Aufgabe. In den vergangenen 30 Jahren haben sie Durchbruch um Durchbruch erzielt, haben „Jones-“, „Quanten-“ und „Entwirrungs-Invarianten“ entwickelt, das „Kontsevich-Integral“ zu nutzen und mit der „Wassiljew-Vermutung“ zu arbeiten gelernt. Neuerdings rücken sie ihren Untersuchungsobjekten mit der „Khovanov-Rozansky-Homologie“ zu Leibe. Sie ist derart kompliziert, dass auch ausgewiesene Experten zugeben, sie nicht zu durchschauen.

Längst wird die Knoten-Mathematik von benachbarten Disziplinen angewandt. Mit ihrer Hilfe beschreiben Biochemiker die Struktur komplexer Moleküle. Polymerforscher nutzen sie, um die Verschlaufungen ihrer aus vielen gleichartigen Molekülen bestehenden Forschungsobjekte zu analysieren. Genetikern ermöglicht sie, verschiedene DNS-Formationen anhand von deren Verschlingungen mathematisch miteinander zu vergleichen.

Doch das alles bedeutet nicht, dass Mathematiker Knoten wirklich elegant handhaben könnten. Denn, peinlich, aber wahr: Die so simpel klingende Aufgabe, verschlungene Knoten mathematisch eindeutig zu beschreiben, haben sie immer noch nicht gelöst.

Ihre Formeln mögen sich der perfekten Knotenbeschreibung nähern. Doch sie sind irrwitzig komplex. In Alltagsworten übersetzen lassen sie sich nicht. So bleibt, wer erfassen will, was Knoten wirklich sind, auf Empfindungen angewiesen: auf Freude darüber, wie praktisch sie sind. Auf Verwirrung, wenn sich Verheddertes mal wieder nicht auflösen lässt.

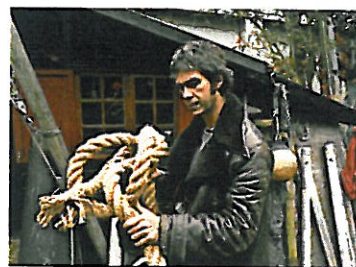
OB DAS NUN HEISST, dass weder Verstand noch Mathematik der Naturerscheinung Knoten gewachsen sind, sei dahingestellt. Doch es ist wohl auch diese partielle Undurchschaubarkeit der Knoten, die Menschen wie Andrzej Stasiak zu immer neuen Experimenten anspornt. Er filmt das Zerreißen verknoteter gekochter Spaghetti. Versucht, das Rätsel des legendären Gordischen Knotens mithilfe von Computerprogrammen zu lösen. Beobachtet die merkwürdig verschraubten Bewegungen, die ein

ringförmig geschlossenes, in sich verschlungenes Kettchen macht, wenn es durch eine meterhohe Säule voller Silikonöl schwebt.

Stasiaks, so glaubt er, wichtigster Beitrag zum Verständnis des Naturphänomens Knoten ist bei aller Experimentierfreude jedoch mathematisch: das Konzept der „idealen Knoten“. Diese ergeben sich, wenn man berechnet, welche der vielen möglichen Formen eines verschlungenen Seilrings die kürzeste Seillänge benötigt.

„Ideale Knoten“ haben oft sehr ästhetische Formen. Einige erinnern an Des Pawsons Knoten, die Affenfaust oder den Türkischen Bund. Einige Teilchenphysiker bringen die idealen Knoten neuerdings in Verbindung mit der Stringtheorie – einer gängigen Theorie vom Aufbau der Materie. Bestimmte Elementarteilchen, so mutmaßen die String-Verfechter, könnten aus ultrawinzigem verschlungenen Fäden bestehen.

Ob das stimmt, kann bislang niemand beweisen. Doch falls es so wäre – dann hätte Peter Guthrie Taits längst zerplatzter Traum von den Wirbelatomen doch noch einen wahren Kern gehabt. Dann gäbe es wirklich das „Weltprinzip Knoten“: Die Materie wäre bis ins Allerkleinste verknotet. □



Als der in London lebende Fotograf HORST A. FRIEDRICHS, 45, Des Pawson zum ersten Mal besuchte, sah er überall Knoten. Selbst der Garten war ein Knotengarten. In der Bibliothek standen alte Bücher über Knoten, in denen ein Totenkopf vor gefährlicher Verwendung warnte. Friedrichs' und Pawsons Liebe zu Seilen führte dazu, dass die beiden sich sogleich verbunden fühlten.