

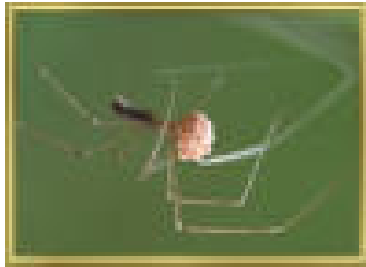


Können Menschen von Zitterspinnen lernen?

Inhaltsverzeichnis

Einführung	S. 2
1. Funktionsweise des Federgelenkes	S. 2
2. Funktion der Prothese	S. 4
3. Berechnung der Federkonstante	S. 5
4. Verifizierung der Federkonstante	S. 7
5. Druckabhängigkeit der Beinstreckung	S. 9
6. Drei-Spritzen-Versuch	S. 11
7. Der Zitterbagger	S. 12
8. Ausblick	S. 13
Anmerkung	S. 14
Danksagung	S. 15
Quellen	S. 15

Einführung: Können Menschen von Zitterspinnen lernen?



Oft schon haben Menschen die Natur als Vorbild genutzt, um von ihr zu lernen. Tiere, wie Spinnen, die scheinbar Unmögliches vollbringen, wenn sie ihre berüchtigten Netze konstruieren, haben uns schon seit langer Zeit in ihren Bann gezogen und wir versuchen uns ihre Erkenntnisse zu Nutzen zu machen.

Der Beitrag des letzten Jahres „Warum zittert die Zitterspinne?“ beschäftigte sich mit der Beobachtung des faszinierenden Zitterverhaltens unter verschiedenen Druckverhältnissen.

Doch was genau kann der Mensch von einer so kleinen Spinne wie *Pholcus Phalangioides*, umgangssprachlich Zitterspinne genannt, lernen?

Mit dieser Leitfrage hat sich unsere Biologie-AG „Detegimus Naturam“ (lat.: „wir erforschen die Natur“) in diesem Jahr beschäftigt.

Da unsere „alte“ Schüex-Arbeit die besondere Bedeutung des Tibia-Metatarsus Gelenks zeigte, war von Anfang an klar, dass dessen spezieller Mechanismus Ausgangspunkt unserer weiteren Arbeit werden sollte. Wir haben verschiedene Theorien zur Erklärung der Funktionsweise des Tibia-Metatarsus Gelenkes entwickelt. So kamen wir auf die Idee eine Hand- bzw. Fingerprothese zu entwickeln, die auf dem folgenden Prinzip basieren sollte.

1.Funktionsweise des Federgelenks

Durch elektronenmikroskopische Aufnahmen bei 3M fanden wir heraus, dass das Tibia-Metatarsus Gelenk auf der Oberseite zwei einander gegenüberliegende Höckerpaare aufweist. Wenn das Bein der Zitterspinne durch den Hämolympdruck gestreckt wird (Literatur, z.B. Colmorgan), agieren die Höckerpaare als Antagonisten. Sie lassen das Bein wieder in seine gebeugte Stellung zurück schnellen, indem sie gegeneinander drücken und so zwischenzeitlich eine Materialspannung aufbauen.

Dadurch ermöglicht das Tibia-Metatarsus Gelenk der Spinne weitgehend ohne Muskelkraft und deshalb energiesparend zu zittern, weil es ähnlich wie eine Feder funktioniert (im entspannten Zustand geknickt, im angespannten Zustand gestreckt). Die vorhandene Bewegungsenergie zur Streckung wird also nicht am Ende der Streckung „vernichtet“, sondern über den Umweg der Materialspannung in den Höckern der entgegengesetzten(!) Bewegungsrichtung wieder zur Verfügung gestellt. So muss über den Beugermuskel (nur über diesen Typ von Muskel verfügt die Spinne in diesem Gelenk laut Literatur) oder den Hämolympdruck (letztlich also die Herzmuskelleistung) lediglich der verbleibende Reibungsverlust im Gelenk bzw. durch den Luftwiderstand kompensiert werden.



Bild 2: auf Entdeckungstour

3M, eine Partnerfirma unserer Schule, stellte uns an einem Nachmittag das Elektronen-mikroskop zur Verfügung und zwei Mitarbeiterinnen von 3M erklärten uns geduldig die Handhabung.

Dabei entdeckten wir das von uns so genannte „Fergelenk“.

Das Tibia-Metatarsus Gelenk (Blick von oben auf das leicht gestreckte Gelenk) wird durch zwei sich gegenüberliegende Höckerpaare an der Oberseite des Gelenks in angewinkelter Zustand gehalten.

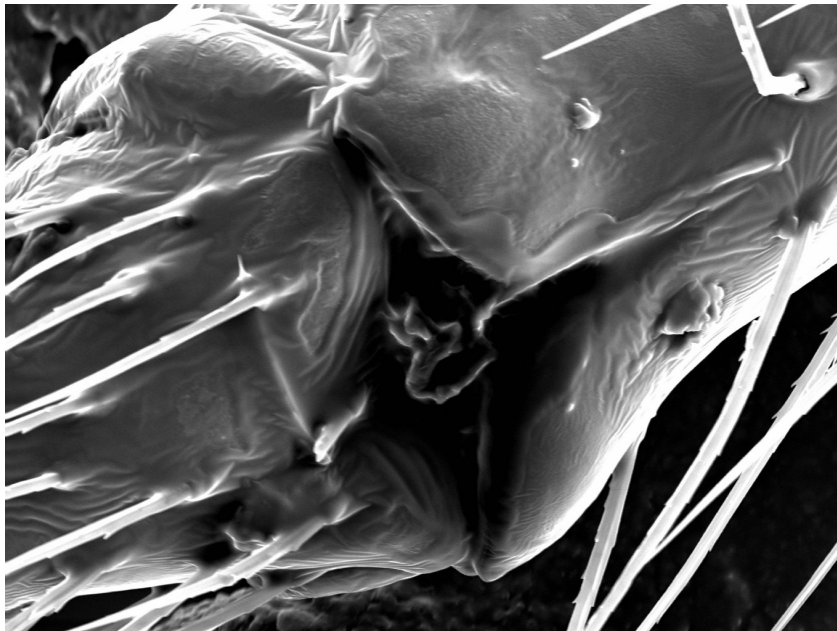


Bild 3:

Tibia/Metatarsus Gelenk von schräg oben betrachtet. Gelenk gestreckt, dadurch Gelenkspalt geöffnet

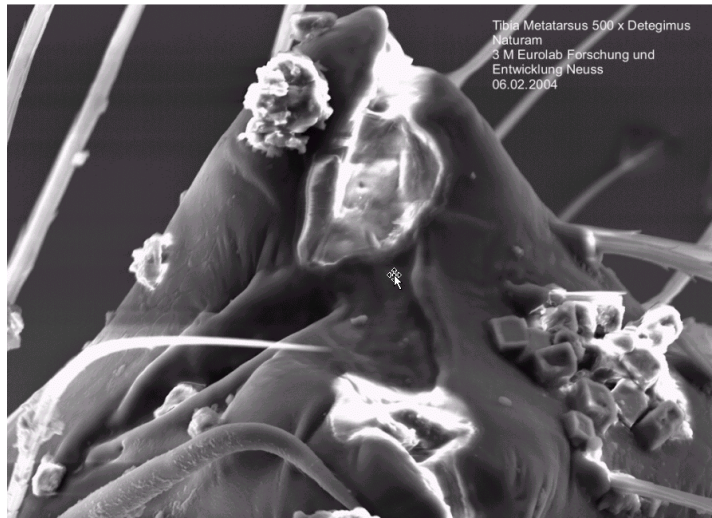


Bild 4:

Die quadratischen Ablagerungen auf dem Bein (rechts unten) stellen Kochsalzkristalle dar. Dies bedeutet, dass an genannter Stelle eine Verletzung vorliegt, aus der Reste der Hämolympflüssigkeit ausgetreten sind und eingedampft wurden.

Außerdem kann Pholcus sich mit Hilfe der Federgelenke tagelang unter die Zimmerdecke klemmen, ohne dafür Energie aufwenden zu müssen. Das wollten wir eigentlich gar nicht herausfinden, ist aber ein sehr interessantes „Abfallprodukt“ unserer Arbeit.

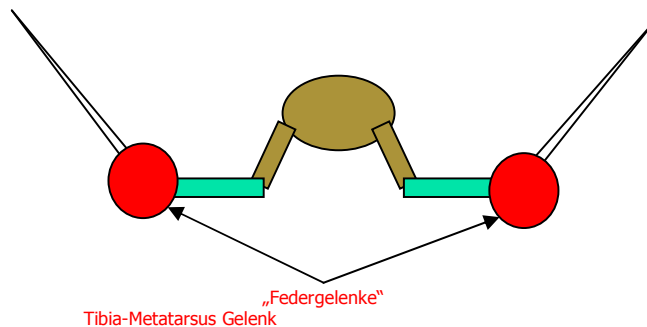


Bild 5:

Der Hämolympdruck streckt die Beine und die Spinne hakt sich mit ihren Endklauen in kleine Unebenheiten der Decke ein. Durch die Materialspannung der Höcker müsste sich das Bein eigentlich wieder beugen, wodurch die Spinne an der Decke hängt.

2. Funktion der Prothese

Zurück zu unserer Prothesenidee:

Abgeleitet von diesen Eigenschaften des Zitterspinnengelenkes, das praktisch muskelfrei arbeitet, haben wir Anwendungen gesucht.

Das Hauptziel, das wir uns stellten, ist, das „hydraulische Energiesparmodell eines Federgelenkes“ für eine Handprothese „Spiderhand“ nutzbar zu machen. Das Endprodukt soll möglichst preiswert und reparaturfreundlich sein. Im Idealfall wollen wir nur einen Bauplan (verbreitet über das Internet) entwickeln, mit dessen Hilfe Menschen in wirtschaftlich schlechter gestellten Ländern mit einfachen Mitteln eine Handprothese nachbauen und jederzeit reparieren können. Diese Prothese kann natürlich nicht mit dem Leistungsspektrum moderner Handprothesen mithalten. Wir wollen aber erreichen, dass ein Mensch mit dieser Prothese ein halbvolleres Wasserglas ergreifen und zum Mund führen kann (Erste experimentelle Modellarbeiten zeigten schon, dass wir unsere Ziele

nicht zu hoch stecken dürfen, um dem Kriterium einer „einfachen“ Prothese gerecht werden zu können).

Einem starren „Daumen“ (weitere Vereinfachung) sollen also vier gelenkige „Finger“ gegenüberstehen, welche insgesamt ein Glas mit dem Gewicht von ca 220 g halten können. Alternativ sollen einem beweglichen Daumen vier starre Finger gegenüberstehen. Die Fingerprothese ist eine vereinfachte Anwendung des Modells eines Spinnenbeins und wie folgt aufgebaut:

Grundidee:

Als Hülle (Exoskelett) dienen zwei Plastikrohre, in die ein Schlauch eingeführt wird, der dem Hämolympdruck entspricht. Die Rohre (zurzeit u.a. in der Erprobung: Leerrohre für Elektroinstallationen aus PVC) sind durch ein außen liegendes Scharnier verbunden und auf ihren Oberseiten wird je ein Höcker angebracht. Das am Ende des Schlauches befestigte Luftkissen (im endgültigen Modell unter dem Ärmel zwischen der Innenseite des Oberarmes und der Brust unterhalb der Achseln) baut einen Überdruck im geknickten Finger auf (Streckung) und die Höcker lassen ihn wieder, wegen der durch die Streckung entstandenen Materialspannung, in seine gekrümmte Ausgangsposition zurückschnellen. Um die Anwendung für die betroffenen Personen zu erleichtern, haben wir uns überlegt, das Luftkissen nicht unter dem Arm mit Prothese anzubringen, sondern unter dem anderen. Die entscheidende funktionelle Frage war: Woraus müssen die „Höcker“, die wie Federn zu funktionieren haben, bestehen?

Das Ziel war geboren, was fehlte war der Weg.

3. Berechnung der Federkonstante:

Uns blieben nun drei Möglichkeiten um das Material, aus dem die Höcker beschaffen sein sollten, zu bestimmen:

Zunächst drängte sich auf, das Material der Spinne selbst – Chitin – zu wählen. Die Auseinandersetzung mit den chemischen Eigenschaften dieses Stoffes (kann man im Chemikalienhandel z.B. als Pulver kaufen) zeigte jedoch, dass es zurzeit keinen Weg gibt, Chitin in beliebigen Formen herzustellen. Hier zeigt sich wieder einmal, dass die Natur dem Menschen immer „eine Nasenlänge“ voraus ist.

Zweitens haben wir einfach „auf gut Glück“ verschiedene Materialien ausprobiert (Metalle, Kunststoffe). Erste Versuche zeigten so schlechte Ergebnisse, dass wir diesen Weg verwarfen und – wenn schon nicht das Originalmaterial – so doch die Materialeigenschaften der Spinne abschauen wollten:

Die Bestimmung der Federkonstante bei der Zitterspinne mit Hilfe der Physik war der dritte Weg. Es war zunächst sehr mühsam sich in der physikalischen Fachliteratur (Büdó, A.: Theoretische Mechanik) zurechtzufinden. Die meisten Formeln aus physikalischer Fachliteratur hatten zu viele Unbekannte um die Federkonstante mit den Größen,

die wir mit Hilfe von Experimenten herausfinden konnten, zu berechnen.

Bereits aus unserer letzten Arbeit standen aber folgende Werte zur Verfügung:

- die Masse unserer gewogenen Spinnen
- die Zitterfrequenz (Zeitlupenstudie)

Um die Spinnen zu wiegen, benötigten wir eine hochempfindliche Waage. Die Spinnen selber wurden von uns äußerst vorsichtig für den Vorgang der Messung in eine Plastikschale gesetzt, auf welche wir eine weitere Schale legten. Diese beiden Schalen mit der Spinne wurden dann von uns gewogen und der Wert notiert. Anschließend zogen wir die Masse der zwei Schalen ab.

Name der Spinne	Gewicht in mg
-----------------	---------------

Philip	60
Roman	59
Ken	45
Maria	33
Senex	26
Almöhi	25
Annabel	24
Falko	22
Frodo	21

Bild 6:

Ergebnistabelle

Durchschnittsgewicht: 35 mg

Um die Zitterfrequenz zu messen, machten wir Zeitlupenstudien und zählten die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde. Daraus ergab sich bei uns ein Durchschnittswert von sechs Zitterzyklen pro Sekunde. Dies ergibt eine Schwingungsdauer T von 0,16 sec. Somit hatten wir die Größenordnungen, mit denen wir arbeiten konnten. Nun stellten wir das Hooksche Gesetz nach D (Federkonstante) um:

$$F=D*s \rightarrow \underline{D=F/s}$$

Da wir jedoch damals weder die zur Steckung benötigte Kraft, noch die Strecke um die sich das Spinnenbein verlängert, messen konnten, machten wir uns in der Literatur auf die Suche nach einer Umstellung der Formel mit den uns zur Verfügung stehenden Größen.

$$D = \frac{4\pi^2}{T^2} m$$

nach: <http://www.stud.uni-siegen.de/kai.grybel/Homepage/Physik/Federkonstanten.doc>
Seite 1

Nach dem Einsetzen unserer Werte ($m = 35\text{mg}$; $T = 0,16\text{ s}$) erhielten wir für die Zitterspinne aus dieser Berechnung

$$D \sim 0,05 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-2} = 50 \text{ mN/m} \quad (\text{als Federkonstante für die gesamte Spinne})$$

Nun mussten wir noch überprüfen,

1. ob dieser Wert stimmt,
2. ob er einfach in die Dimension der Finger zu übertragen ist und welcher Stoff eine ähnliche Federkonstante hat.

Wir schlossen zunächst, dass ein kleiner Wert einer Federkonstante bedeutet, dass man wenig Kraft benötigt, um die Feder zu strecken.

Allerdings wollten wir diese Berechnung noch anhand eines weiteren Versuchs überprüfen.

4. Verifizierung der Federkonstanten

Wir haben die zur Streckung benötigte Kraft und die Strecke, um die sich die Spannweite des Spinnenbeins verlängert hat, gemessen und damit ein Kontrollexperiment zu den Eigenschaften des Zitterspinnen-gelenkes durchgeführt.

Hierfür wird das Bein (natürlich das einer tot aufgefundenen Spinne) an einer hochempfindlichen Waage befestigt. Dann wird es mit Hilfe eines Fadens gestreckt und man liest den negativen Wert an der Waage ab.

Beispiel: Durch das Ziehen wird der Wert auf der Waagenskala kleiner, da das Gewicht des Beins abnimmt (man hebt das Bein hoch). Nun muss man nur noch die entsprechenden Längenänderungen festhalten.

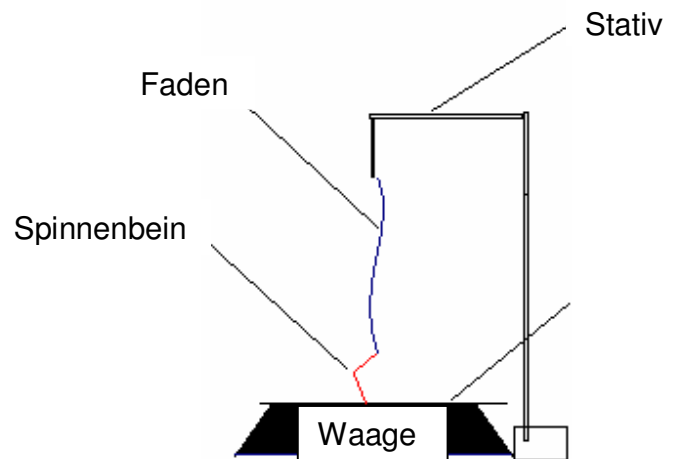


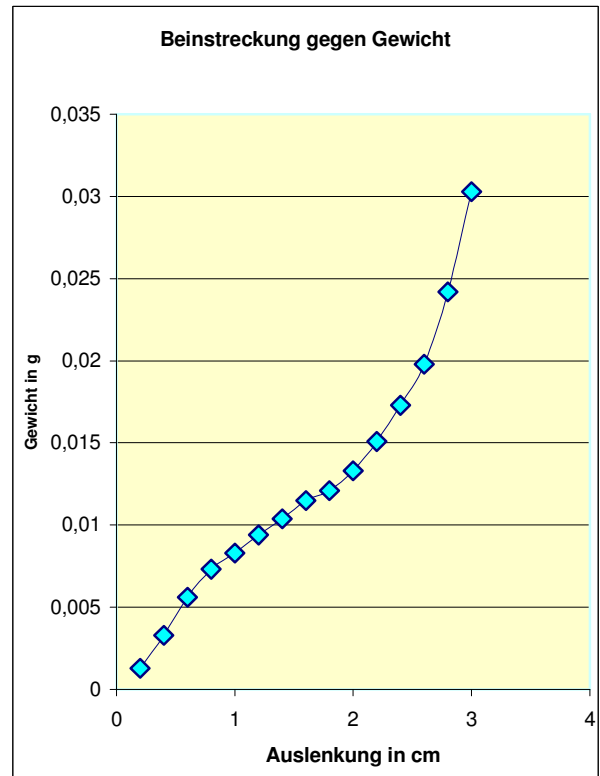
Bild 7: Aufbau des Versuchs

Betrachtet man den Graphen dieses Versuchs, fällt zu nächst einmal auf, dass er drei verschiedene Phasen aufweist:

Im Bereich von 0-1 cm Auslenkung steigt die Kurve relativ steil an, was bedeutet, dass die Höcker noch keine richtige Materialspannung aufgebaut haben, da das Bein sich noch nicht im gestreckten Zustand befindet.

Die zweite Phase von ca. 1cm -2,3 cm Auslenkung haben wir als so genannte Arbeitsphase bezeichnet. In diesem Bereich beginnen die Höcker erst richtig zu „arbeiten“, d.h. sie wirken gegeneinander und bauen so die eigentliche Materialspannung auf. Das bedeutet: Es wird weniger Kraftzuwachs benötigt, um eine geringere Streckung zu erzielen.

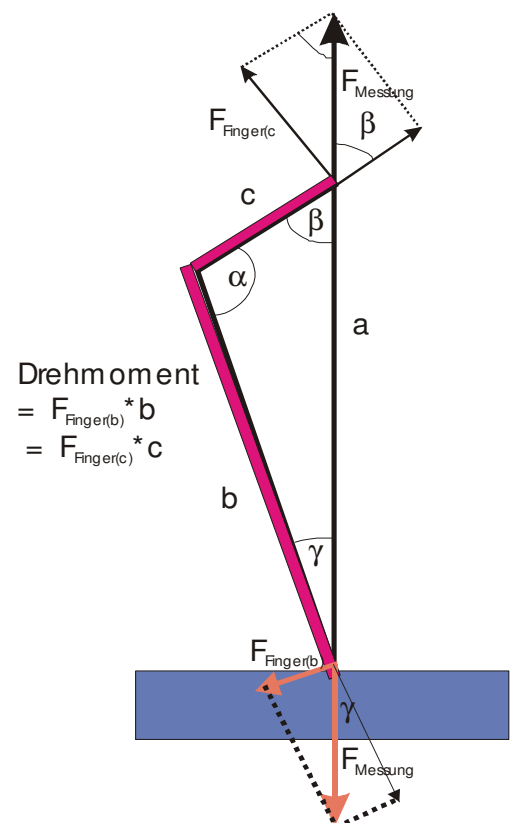
Ab 2,3 cm Auslenkung steigt die Kurve noch steiler an als zu Beginn. Begründung hierfür ist, dass ein weiteres Zusammendrücken der Höcker nicht mehr möglich ist. Zieht man dennoch weiter, bricht das Gelenk schließlich.



Da wir sicher gehen wollten, den eventuell elastischen Faden als mögliche Fehlerquelle auszuschalten, haben wir einen Kontrollversuch vorgenommen, bei dem der gesamte Versuchsaufbau zwar gleich blieb, jedoch das Spinnenbein weg gelassen wurde. Dabei bestätigte sich allerdings unsere Vermutung, dass diese Verfälschung durch den Faden so gering ist, dass sie vernachlässigt werden kann: Bei Einwirkung einer 10-mal höheren Kraft als wir für das Spinnenbein jemals verwendet haben, trat eine nur unwesentliche Streckung von einem Millimeter auf.

Ein weiteres Problem bei diesem Versuchsaufbau besteht darin, dass das Bein durch den Faden nach oben gezogen wird und somit nur ein Teil der aufgewendeten Kraft senkrecht auf das Bein wirkt. Um dies mit zu berücksichtigen, sind wir zu dem Entschluss gekommen, dass man die Kraft, die nach oben wirkt, vektoriell zerlegen kann, damit wir die Kraft, mit der tatsächlich gezogen wird, herausfinden können. In diesem Fall betrachtet man das Spinnenbein als Hebel und zusammen mit der dazugehörigen Kraft als Drehmoment.

Mit den dadurch erzielten Ergebnissen haben wir die Möglichkeit, das Verhältnis zwischen tatsächlich relevantem Drehmoment und dazugehöriger Auslenkung darzustellen.



Außerdem kamen wir zu der Überlegung auch die Luftfeuchtigkeit bei unseren Experimenten stets konstant zu halten, um eine weitere eventuelle Fehlerquelle auszuschalten.

5. Druckabhängigkeit der Beinstreckung

Unserer zurzeit aktuellen These zu Folge kann der Mechanismus des Spinnebeins auch als 3-Hebel-System bezeichnet werden. Dies bedeutet, dass wir es mit drei verschiedenen Drehmomenten zu tun haben: Mit dem Drehmoment verursacht durch den Druck, durch die Materialspannung der Höcker und die Krafteinwirkung auf das Bein (bei der Prothese natürlich auf den Finger). In unseren Experimenten haben wir bezüglich dieser drei Drehmomente immer zwei gegenüber gestellt:

Beim Waagenversuch die Komponenten Höcker und Bein und bei unserem, bis jetzt aktuellsten Versuch die Komponenten Höcker und Druck.

Der zu diesem Versuch gehörende Versuchsaufbau sah folgendermaßen aus: Wir beförderten ein Spinnenbein einer tot aufgefundenen Spinne in eine Spritze und klebten es mit Hilfe von zwei Komponentenkleber in die Nadel ein. Dabei muss man natürlich darauf achten, dass man das entscheidende Gelenk nicht mit zuklebt. Andererseits muss genügend Kleber vorhanden sein, um das Bein luftdicht zu verkleben.

Die Spritze wurde mit Hilfe von Luftschläuchen mit einem Druckmessgerät verbunden, sodass wir genau den jeweils vorhandenen Druck im Bein ablesen konnten. Die gesamte Versuchsreihe haben wir gefilmt und fotografiert.

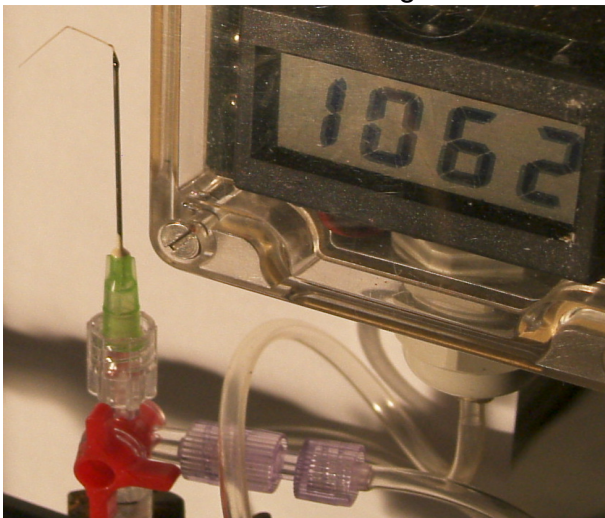


Bild 9 (links):

Bei einem Druck von 1062 mbar sieht man das fast vollständig gestreckte Bein.

Bild 10 (unten):

Bei einem Druck von 997 mbar ist das Bein noch im nahezu vollständig gebeugten Zustand.



Bis jetzt hatten wir allerdings nicht die Zeit, die zugehörigen Auslenkungswinkel genaustens zu bestimmen. Der von uns hierzu erstellte Graph basiert auf geschätzten Werten. Man sieht allerdings bereits deutlich den Verlauf der Kurven und die Unterschiede zwischen den einzelnen Gelenken:

Das Tibia-Metatarsus Gelenk weist eine relativ gleichmäßige Steigung auf und streckt sich schon bei niedrigerem Druck. Das andere Gelenk (Femur-Patella) beginnt erst bei einem Innendruck von ca. 1025 mbar erste Winkeländerungen aufzuweisen. Allerdings verläuft die Kurve dann sehr steil (fast rechtwinklig) nach oben. Aus der Grafik lassen

sich ebenfalls problemlos Minimal- und Maximalwinkel beider Gelenke ablesen. Das wäre beim Tibia-Metatarsus ein Minimalwinkel α von ca. 45° und ein Maximalwinkel α von ungefähr 145° . Beim Femur-Patella Gelenk liegt der Spielraum zwischen 65° und 95° . Jedoch sind diese Winkelangaben, wie oben schon erwähnt, nur Schätzungen und müssen noch anhand der technischen Mittel verifiziert werden.

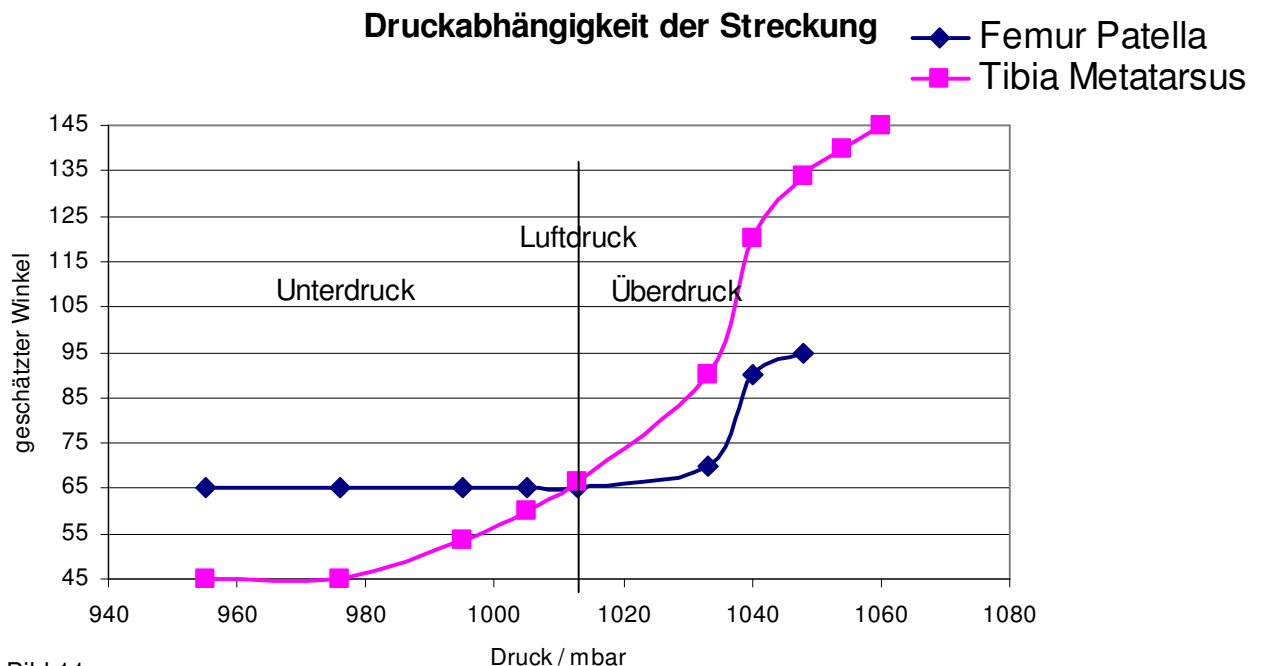


Bild 11:
Grafik der Druckabhängigkeit der Streckung

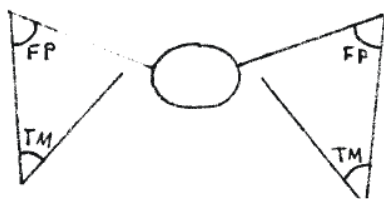
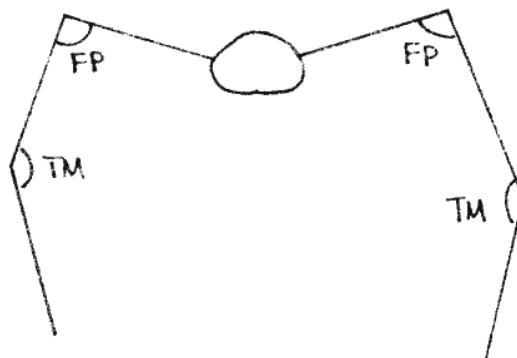


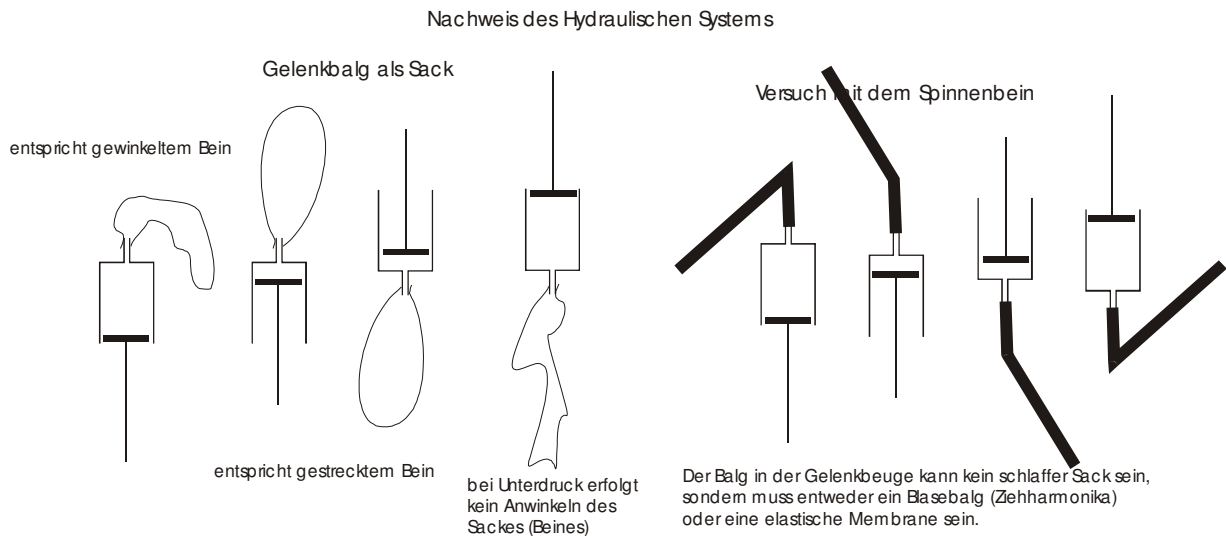
Bild 12 und 13:

Minimal- und Maximalwinkel der beiden Gelenke



Schon jetzt können wir erkennen, dass sowohl die Streckung des Gelenks mit Faden und Waage, als auch durch Aufblasen mit der Spritze einen ähnlichen Kurvenverlauf haben.

Das sollte auch so sein, denn beide Male arbeiten wir gegen die gleichen elastischen Höcker.



Wir haben bereits einen ersten Kontrollversuch durchgeführt, um die Schwerkraft als potentielle Fehlerquelle ausschließen zu können. Dabei drehten wir die Spritze mit dem darauf befestigten Bein um 180°, sodass das Gelenk nun gegen die Schwerkraft arbeiten musste.

Hierbei erzielten wir fast identische Ergebnisse, was beweist, dass die Spinne tatsächlich hydraulisch bewegt wird.

Ein weiteres Indiz für unsere „Federgelenk-These“ besteht darin, dass die Werte, die beim Druckerhöhen erzielt wurden nicht exakt mit denen übereinstimmen, die wir beim Drucksenken erhielten.

Um dies zu erläutern, kann man einen bildlichen Vergleich zu einer Art Schwamm vornehmen: Dieser kann ebenfalls einfacher und schneller zusammengedrückt werden, als er sich wieder ausweitet.

6. Drei-Spritzen-Versuch

Diese Auswertung warf bei uns wieder eine neue Frage auf:

In welcher Beziehung stehen Femur-Patella- und Tibia-Metatarsus Gelenk bezüglich der hydraulischen Streckung und der Beugung des Beines?

Erste Vermutungen sind, dass das Tibia-Metatarsus Gelenk auf Grund eines niedrigeren Widerstandes zuerst gestreckt wird. Diese These würden auch unsere elektronenmikroskopischen Aufnahmen bestätigen, da ein deutlicher Größenunterschied zwischen den beiden Gelenken zu erkennen ist: Das Femur-Patella Gelenk ist deutlich „dicker“ als das Tibia-Metatarsus Gelenk.

Um dieses Geheimnis zu lüften, streben wir einen weiteren Versuch an, eine Vereinfachung des Spinnenkreislaufs (3-Spritzen-Versuch):

Drei Spritzen werden mit Hilfe eines Schlauches miteinander verbunden (bildlich gesehen also in Reihe geschaltet). Die erste Spritze fungiert als Spinnenherz. Die anderen beiden Spritzen stellen die beiden Gelenktypen dar (das der „Herzspritze“ nähere repräsentiert das Femur-Patella Gelenk). Bei diesen beiden Spritzen ist der Kolben bis zum Anschlag eingedrückt. Nun wird mit der „Herzspritze“ Luftdruck in das System gegeben.

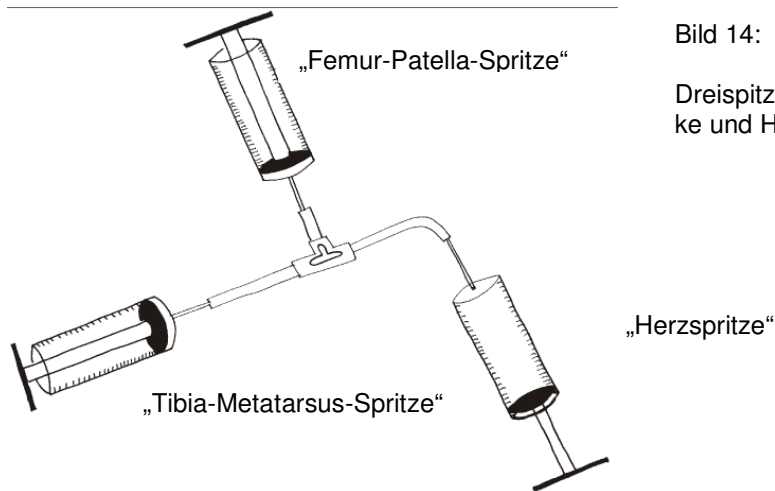


Bild 14:

Dreispitzenmodell für zwei Gelenke und Herz

Unseren Vermutungen zu Folge sind drei verschiedene Ergebnisse möglich:

- 1.) Die Kolben beider „Gelenkspritzen“ werden gleichzeitig herausgedrückt.
- 2.) Der „Femur-Patella Kolben“ reagiert zuerst.
- 3.) Der „Tibia-Metatarsus Kolben“ reagiert zuerst.

Fall (1) verifiziert unsere These, da demnach bei der Spinne die Streckung der Gelenke zeitgleich verlaufen müsste. Dem ist bei der Spinne nicht so → Femur-Patella hat einen größeren Widerstand und streckt sich demnach später.

Fall (2) verifiziert unsere These ebenfalls, da bei der Spinne genau das andere Gelenk zuerst gestreckt wird.

Tritt Fall (3), müssen wir einen weiteren Versuch zur Überprüfung unserer These durchführen, da der hierbei erfolgende Streckungsablauf dem der Spinne entspricht und somit nicht auf Gelenkunterschiede schließen lässt, es aber dennoch nicht auszuschließen ist. Das heißt: Die These wird weder widerlegt noch bestätigt!

7. Der Zitterbagger

Wäre es nicht möglich, die Funktionsweise des Tibia-Metatarsus Gelenkes auch in einem neuartigen, energiesparenden Bagger zu nutzen?



Bild 15:

Der Baggerarm wird mit Hydraulik gestreckt (Pumpen) und durch „Saugen“ wieder gebeugt. Würde man das Höckersystem der Zitterspinne nun auf den Bagger übertragen, könnte man sich das Saugen sparen und müsste nur ein Druckventil öffnen. Folge: Ein energiesparender „Zitterbagger“

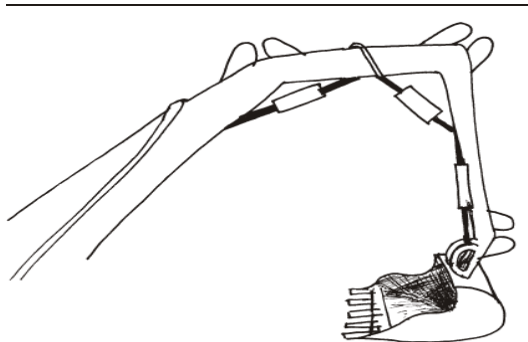


Bild 16:

Zitterbagger

8. Ausblick

Jedoch ist unsere Arbeit hiermit noch bei weitem nicht beendet. Folgende Versuche und Ideen wollen wir bis zum Landeswettbewerb im April noch verwirklichen:

- 1.) Die beim Waagenversuch oben erläuterten Verbesserungen müssen umgesetzt werden. Des weiteren werden wir den Versuch auf Feuchtigkeitsabhängigkeit überprüfen, indem wir sowohl trockene als auch befeuchtete Beine verwenden werden (d.h.: die Beine werden über Nacht feucht „eingelegt“ oder mit einer Pumpe evakuiert und mit Wasser gefüllt).
- 2.) Der 3-Spritzen-Versuch muss durchgeführt und ausgewertet werden.
- 3.) Die Daten des „Druckabhängigkeits-Versuches“ der Gelenke müssen noch anhand von Film- und Fotomaterial perfektioniert werden, da es sich bis jetzt nur um geschätzte Winkelangaben handelt. Außerdem wollen wir auch diesen Versuch zur Verifizierung noch mehrmals durchführen und auch hier eine eventuelle Luftfeuchtigkeitsabhängigkeit und Wasserfüllung mit einbeziehen.
- 4.) Fortschritt unserer praktischen Ideen: Erste Prothesenmodelle, eventuell Perfektionierung mit

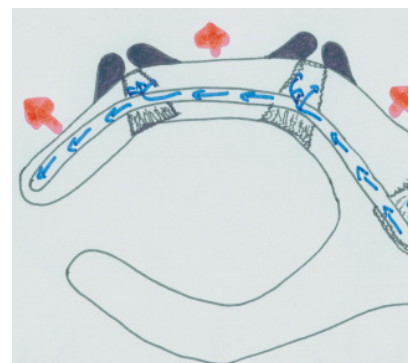


Bild 17:

Prothese 3 Höckerpaare

Hilfe von drei Daumengliedern und somit auch drei Höckerpaaren. Vorteil: bessere Beweglichkeit und Feinmotorik.

- 5.) Ein weiterer Versuch, um zu beobachten, ob alle Spinnenbeine bei Druckanstieg gleich reagieren:
Mit einer Spritze wird in den Körper einer bereits toten Spinne eingestochen und die Konstruktion wird mit 2-Komponentenkleber abgedichtet. Dann wird Luft hineingegeben und der Versuch beobachtet, protokolliert und ausgewertet.

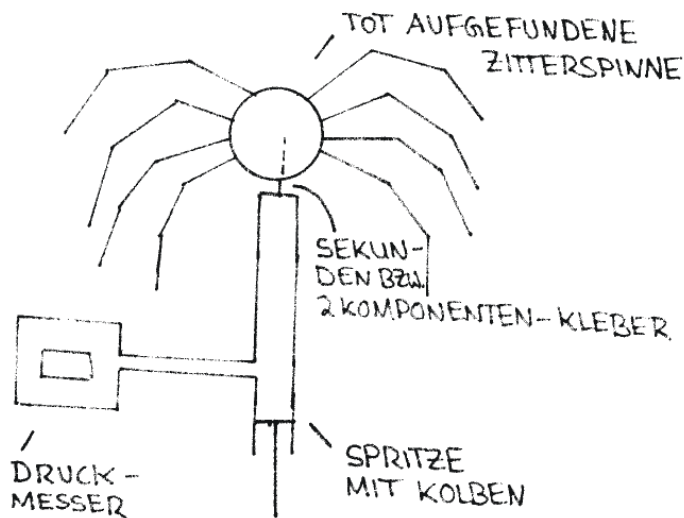


Bild 18:

Spritze in Spinne

Anmerkung:

Im Gegensatz zur einleitenden Arbeit vor einem Jahr, bei welchem wir mit lebenden Spinnen gearbeitet haben, arbeiten wir in diesem Jahr experimentell nur mit tot aufgefundenen Zitterspinnen. Daher haben wir Aspekte des Tierschutzes diesmal nicht ausführlicher behandelt.

Danksagung:

Wir danken Herrn Osterwind für seine Leidenschaft und Begeisterung für Zitterspinnen, ohne diese hätten wir wohl nie an einem Wettbewerb wie „Jugend forscht“ teilgenommen! Auch müssen wir hier unbedingt Herrn Dr. Enßlin erwähnen, der viel Zeit geopfert hat, um gemeinsam mit uns Probleme zu diskutieren. Für die – für unsere Arbeit so wichtigen – elektronenmikroskopischen Aufnahmen sind wir der Firma 3M – vor allem Frau Krzizek und Frau Miruch – zu Dank verpflichtet. Des Weiteren danken wir allen Schülern der Chemie AG: Unter anderem Christopher Blum und Niklas Heinzler für ihren seelischen Beistand, Jan Imfeld und Johannes Hatting für ihre perfekte Kameraführung und Arne Hünicke für sein ehrliches Interesse an unserer Arbeit. Zudem fühlen wir uns unseren Mitschülern verbunden, die uns mit ihrer ungeschönten Kritik immer wieder zu neuer Arbeit angeregt haben. Ebenfalls möchten wir Herrn Finkenrath und Herrn Fahrney für ihre Tipps und den Bau der Druckapparaturen danken. Außerdem danken wir schon einmal Herrn Schmiedel für seine Hilfe beim Handprothesenbau. Auch unseren Eltern danken wir für ihre enthusiastische Unterstützung.

Quellen:

Arnheim, Katharina et al.: Herder-Lexikon der Biologie. Heidelberg, 1994.
Budó, A.: Theoretische Mechanik. Deutscher Verlag der Wissenschaften. 5. berichtigte Auflage. Berlin, 1969.
Colmorgen, Michael: Optophysiologische Untersuchungen zur Zirkulation und Mikrozirkulation bei der Zitterspinne *Pholcus phalangioides*. Düsseldorf, Univ., Dipl.-Arb., 1992.
Grzimek, Bernhard (Hrsg.): Grzimeks Tierleben, Band 1. München, 1979.
Heimer, Stefan: Wunderbare Welt der Spinnen. Hannover, 1988.
Heimer, Stefan; Nentwig, Wolfgang: Spinnen Mitteleuropas. Berlin, 1991.
Hennig, W.: Wirbellose II - Gliedertiere. Frankfurt / Main, 1972.
Jones, Dick: Der Kosmos-Spinnenführer. Stuttgart, 1984.
Kaestner, Alfred: Lehrbuch der speziellen Zoologie. Stuttgart, 1969.
Kullmann, Ernst, Stern, Horst: Leben am seidenen Faden. - Die rätselhafte Welt der Spinnen. Stuttgart, 1996.
Mennerich, Ingo: Zitterspinne und Weberknecht. In: Unterricht Biologie 196. 1994.
Penzlin, Heinz: Lehrbuch der Tierphysiologie. Stuttgart, 1977.
Preston-Mafham, Ken; Preston-Mafham, Rod: The Natural History of Spiders. Wiltshire, 1996.
Renner, Franz: Spinnen ungeheuer - sympathisch. Kaiserslautern, 1990.
Savory, Theodore: Arachnida. London, 1977.
Schmidt, G. Krause, R.H.: Spinnen im Unterricht. Praxis der Naturwissenschaften Biologie 3/43 S. 3.
www.fotoinsekt.de/spinnen.html Foto S. 1 12.1.2004
<http://www.stud.uni-siegen.de/kai.grybel/Homepage/Physik/Federkonstanten.doc>
09.01.05