



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Die Spinne im Unterricht:
Analyse und didaktische Konzepte unter besonderer
Berücksichtigung der neurobiologischen Forschung“

verfasst von / submitted by

Reithofer Christina, MSc, BSc

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Magistra der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2017 / Vienna, 2017

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 190 445 406

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Lehramtsstudium UF Biologie und Umweltkunde
UF Mathematik

Betreut von / Supervisor:

ao. Univ.-Prof. Dipl.-Biol. Dr. Axel Schmid

Danksagung

Ich bedanke mich von ganzem Herzen bei meinem Betreuer ao. Univ.-Prof. Dipl.-Biol. Dr. Axel Schmid. Durch seine Beratung gewann ich Sicherheit in der mir überlassenen Freiheit diese Arbeit so zu gestalten, wie sie nun hier vorliegt. Danke, für die hervorragende Zusammenarbeit und Betreuung.

Weiters möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken, die mir in der Zeit des Studiums und während des Einstiegs in meine berufliche Laufbahn stets den Rücken gestärkt haben.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Allgemeines zur Spinne	5
2.1	Systematischer Überblick	5
2.2	Körpergliederung	8
2.3	Das Prosoma	9
2.3.1	Laufbeine	10
2.3.2	Pedipalpen, Mundwerkzeuge und Cheliceren.....	11
2.3.3	Augen.....	14
2.3.4	ZNS, Giftdrüsen und Saugmagen	16
2.4	Das Opisthosoma.....	18
2.4.1	Verdauungstrakt und Nahrungsaufnahme	18
2.4.2	Herz und Blutkreislauf	20
2.4.3	Buchlung, Tracheen und Atmung.....	22
2.4.4	Spinnwarzen und Spinndrüsen	25
2.4.5	Geschlechtsorgane und Kopulation	29
2.4.5.1	männliche Geschlechtsorgane	30
2.4.5.2	weibliche Geschlechtsorgane	31
2.4.6	Exkretion und Malpighische Gefäße	32
2.5	Exo- vs. Endoskelett.....	32
2.6	Spezielle Sinnesorgane	35
2.6.1	Tasthaare und Trichobothrien	35
2.6.2	Spaltsinnesorgane	36
2.6.3	Das metatarsale Vibrationsorgan.....	38
2.6.4	Propriorezeptoren	39
2.6.5	Chemische Sinne	39
2.7	Lebensweisen und Verhalten.....	39
2.7.1	Netzbau	40
2.7.1.1	Spinnseide.....	40
2.7.1.2	Anatomie und Bau eines Radnetzes	40
2.7.2	Beutefang und Giftigkeit.....	42
2.7.3	Balz- und Brutpflegeverhalten.....	44
2.8	Entwicklung	46
3	Die Spinne in der Neurobiologie	50

3.1	Das Versuchstier <i>C. salei</i>	50
3.1.1	Phylogenie = Verwandtschaft	51
3.1.2	Das natürliche Verbreitungsgebiet	51
3.1.3	natürlicher Lebensraum und Beutefangverhalten von <i>C. salei</i>	52
3.2	Das visuelle System von <i>C. salei</i>	53
3.3	Versuch: Das visuell ausgelösten Angriffsverhalten von <i>C. salei</i>	54
3.3.1	Material und Methode	56
3.3.1.1	Versuchstiere	56
3.3.1.2	Versuchsaufbau und –bedingungen	57
3.3.1.3	Versuchsdurchführung	58
3.3.1.4	Visuelle Stimulation	58
3.3.1.5	Geschwindigkeitstests und Versuche zur Punkterscheinung	60
3.3.1.6	Datenanalyse	62
3.3.2	Ergebnisse	64
3.3.2.1	Vortests	64
3.3.2.2	Kontrolltests	64
3.3.2.3	Geschwindigkeitstests	64
3.3.3	Diskussion	71
4	Die Spinne im Österreichischen Lehrplan	76
4.1	Gliederung des Lehrplanes	76
4.2	Unterstufe	76
4.3	Oberstufe	77
5	Unterrichtsvorschläge	79
5.1	Unterrichtsvorschlag für die Unterstufe	79
5.1.1	Stationenübersicht und Lehrziele	79
5.1.2	Arbeitsaufträge und Material für die Unterstufe	81
5.1.3	Unterrichtsvorschlag Oberstufe	135
5.1.4	Arbeitsauftrag Verhaltensforschung	136
6	Literaturverzeichnis	141
7	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	144
8	Zusammenfassung	148
9	Summary	149

1 Einleitung

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit der Frage, wie Spinnen in der Wissenschaft und in der Schule beleuchtet werden. Ziel dieser Arbeit ist, eine fachliche Brücke zwischen Wissenschaft und Unterricht zu bauen und die Spinne im Unterricht als Anschauungs- und Versuchstier einzuführen. Einen besonderen Schwerpunkt soll dabei die Neurobiologie einnehmen und dadurch einen möglichen Bogen zwischen Schule und universitärer Forschung aufzeigen. Diese Diplomarbeit soll als Handbuch für jene engagierten Lehrkräfte dienen, die Kindern und Jugendlichen die faszinierende Vielfalt und Lebensweise der *Araneae* vermitteln wollen.

Zuerst wird allgemein auf die Spinne eingegangen: Informationen über Anatomie, Physiologie und Ökologie bilden den Schwerpunkt des ersten Unterpunktes.

Der Abschnitt „Die Spinne in der Neurobiologie“ befasst sich speziell mit dem Einsatz der Spinne *Cupiennius salei* am Department für Neurobiologie der Universität Wien. Es wird im Detail auf diese Spinne eingegangen, die durch die Erforschung ihres visuellen Systems einen großen Beitrag zur Grundlagenforschung leistet. Die Beschreibung eines Demonstrationsversuchs mit diesem Tier soll einen Einblick in die neurobiologische und verhaltensbiologische Forschung geben und auch Anreiz für forschendes Arbeiten und forschende Fragestellungen in der Schule sein.

Es folgt eine Analyse, wie das Thema „Spinne“ im österreichischen Lehrplan verankert ist und in welchen Klassen der AHS Unter- und Oberstufe Themen zur Spinne behandelt werden können.

Zuletzt wurden verschiedene Unterrichtseinheiten zur Spinne ausgearbeitet, welche ebenfalls ein Bestandteil dieser Arbeit sind. Großteils handelt es sich dabei um forschendes Lernen und das selbstständige Erarbeiten und Überprüfen von Hypothesen, sodass die wissenschaftliche Arbeitsweise Einzug in der Schule findet.

2 Allgemeines zur Spinne

2.1 Systematischer Überblick

Die Klasse der Spinnentiere (*Arachnida*) umfasst aktuell 16 Ordnungen, wobei die Ordnungen *Xiphosura* (Schwerzschwänze) und die fossilen *Eurypterida* (Seeskorpione) Schwesternordnungen der *Arachnia* bilden (Shultz, 2007). Durch den Fortschritt der Forschung und neue Untersuchungsmethoden ändern sich die Kladogramme ständig. Besonders in der Ordnung der Milben (*Acari*) gibt es ständig neue Ergebnisse und Dispute über die korrekte stammesgeschichtliche Einordnung dieser Organismen.

Die Ordnungen der *Arachnida* (Shultz, 2007):

- *Chasmataspidida* (†, aquatisch)
 - *Haptopoda* (†, terrestrisch)
 - *Palpigrada* (Palpenläufer)
 - *Trigonotarbida* (†, terrestrisch)
 - *Araneae* (Webspinnen)
 - *Amblypygi* (Geißelspinnen)
 - *Uropygi* (Geißelskorpione)
 - *Schizomida* (Zwerggeißelskorpione)
 - *Ricinulei* (Kapuzenspinnen)
 - *Opilioacariformes*
 - *Parasitiformes*
 - *Acariformes*
 - *Pseudoscorpiones* (Pseudoskorpione)
 - *Solifugae* (Walzenspinnen)
 - *Opiliones* (Weberknechte)
 - *Scorpiones* (Skorpione)
- } Acari (Milben)

Die Ordnung der *Araneae* (Webspinnen) umfasst etwa 45.000 verschiedene Arten. Ein ständiger Disput herrscht bei der Frage der genauen Systematik. Seit 1900 wurden mehr als 20 unterschiedliche Systeme zur Einteilung der Familien vorgeschlagen (Foelix, 2015). Insgesamt gibt es in etwa 110 Familien, die drei

Unterordnungen zugeteilt werden. Die Unterordnung der *Mesothelae* (Gliederspinnen) ist gekennzeichnet durch ein gegliedertes Opisthosoma, das bei den beiden anderen Unterordnungen unsegmentiert vorliegt (Foelix, 2015). Die Unterordnungen *Mygalomorphae* (Orthognatha, Vogelspinnen) und *Araneomorphae* (Labidognatha, eig. Webspinnen) unterscheiden sich durch die Stellung ihrer Cheliceren. Bei den Orthognatha sind die Cheliceren fast parallel ausgerichtet und können nach vorne ausgeklappt werden, bei den Labidognatha sind sie vertikal angelegt und können seitlich bewegt werden (Foelix, 2015).

Spinnen kommen weltweit vor und haben stets eine terrestrische Lebensweise. Bis zum heutigen Tag ist nur eine Ausnahme bekannt, die Wasserspinne *Argyroneta aquatica* aus der Familie der *Cybaeidae* (Gebirgstrichterspinne). Sie lebt als einzige Spinne komplett unter Wasser und trägt eine Luftblase am Abdomen mit sich, die sie vergrößern und wie eine Taucherglocke nutzen kann. *A. aquatica* findet zur Gänze in dieser Luftblase Platz und kann dort Nahrung aufnehmen, sich häuten, Eier ablegen und viele weitere Lebensvorgänge durchführen (Bellmann, 2010).

Die wichtigsten Familien der Webspinnen werden kurz aufgelistet und die Anzahl ihrer Arten angegeben, sodass ein Eindruck gewonnen werden kann, wie vielfältig diese Ordnung ist.

Ordnung *Araneae* (Webspinnen)

UO *Mesothelae* (Gliederspinnen, 1 Familie)

Fam. *Liphistiidae* (85 Arten)

UO *Mygalomorphae* (Orthognatha, Vogelspinnen, 15 Familien)

Fam. *Atypidae* (Tapezierspinnen, 50 Arten)

Fam. *Ctenizidae* (Falltürspinnen, 130 Arten)

Fam. *Dipluridae* (Röhrenvogelspinnen, 180 Arten)

Fam. *Theraphosidae* (Vogelspinnen, 950 Arten)

UO *Araneomorphae* (Labidognatha, eig. Webspinnen, über 80 Familien)

Fam. *Dysderidae* (Sechsaugenspinnen, 530 Arten)

Fam. *Pholcidae* (Zitterspinnen, 1400 Arten)

Fam. *Scytodidae* (Speisspinnen, 230 Arten)

Fam. *Amaurobiidae* (Finsterspinnen, 285 Arten)

Fam. *Dictynidae* (Kräuselspinnen, 580 Arten)
Fam. *Eresidae* (Röhrenspinnen, 100 Arten)
Fam. *Clubionidae* (Sackspinnen, 580 Arten)
Fam. *Salticidae* (Springspinnen, 5760 Arten)
Fam. *Thomisidae* (Krabbenspinnen, 2170 Arten)
Fam. *Lycosidae* (Wolfsspinnen, 2400 Arten)
Fam. *Pisauridae* (Raubspinnen, 335 Arten)
Fam. *Agelenidae* (Trichterspinnen, 1150 Arten)
Fam. *Araneidae* (Radnetzspinnen, 3050 Arten)
Fam. *Linyphiidae* (Baldachinspinnen, 4500 Arten)
Fam. *Theridiidae* (Kugelspinnen, 2420 Arten)
Fam. *Miturgidae* (Dornfingerspinnen, 340 Arten)

(nach Foelix, 2015)

2.2 Körpergliederung

Der Körper einer Spinne wird grob in Prosoma (Vorderkörper) und Opisthosoma (Hinterkörper) gegliedert, die durch das Mittelstück, dem Petiolus, das einem kurzen engen Stiel ähnelt verbunden sind (Abb. 1; Storch und Welsch, 2014). Das Prosoma wird durch die Verwachsung von Kopf- und Brustabschnitt auch Cephalothorax und das Opisthosoma wird Abdomen genannt. Die äußere Körperhülle ist verhärtet, man spricht von einem starren Exoskelett (Foelix, 2015).

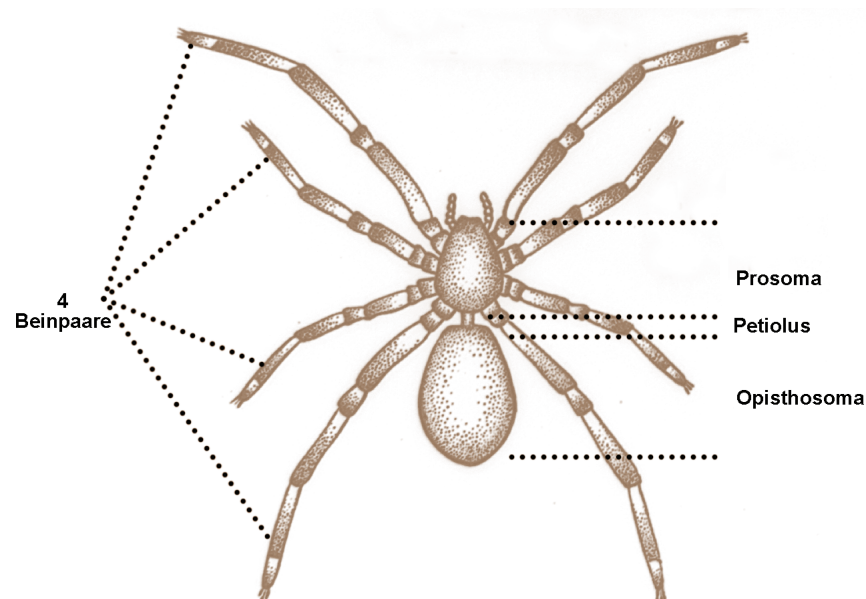


Abbildung 1, Grobgliederung des Spinnenkörpers. Pro- und Opisthosoma sind durch den Petiolus (Stiel) verbunden. Vier Beinpaare setzen am Prosoma an (bearbeitet nach Kaladri, 2009, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spider-characteristics.png>, Download am 3.5.2016).

Durch diese Begriffe kann man bereits gut erkennen, dass sich Spinnentiere schon in der Körpergliederung stark von Insekten unterscheiden. Bei Insekten liegt stets eine Gliederung in Caput, Thorax und Abdomen (Kopf, Brust, Hinterleib) vor, wobei die Körperteile segmentiert sind. Bei den *Araneae* können nur bei den *Mesothelae* (Gliederspinnen) Segmente erkannt werden, wodurch diese eine eigene Unterordnung der *Araneae* bilden (Abb. 1). Der Begriff Cephalothorax beschreibt selbst sehr gut, dass bei Spinnentieren der Kopf und der Brustabschnitt miteinander verwachsen sind. Ein weiterer wichtiger Unterschied zwischen Insekten und Spinnentieren ist die Anzahl der Beine.

Spinnentiere besitzen stets 4 Beinpaare, Insekten sind Hexapoda, besitzen also insgesamt 6 Beine.

Das Prosoma dient neben der Nahrungsaufnahme und der Fortbewegung hauptsächlich der Reizverarbeitung. Das zentrale Nervensystem ist im Prosoma angelegt. Das Opisthosoma ist im Gegensatz dazu für vegetative Aufgaben verantwortlich. Am Ende des Opisthosomas sitzen die Spinnwarzen, deren Spinndrüsen im Inneren des Opisthosomas liegen. Weiters sind die wichtigsten Organe für Atmung, Verdauung, Kreislauf, Exkretion und Reproduktion im Opisthosoma zu finden (Foelix, 2015).

2.3 Das Prosoma

Die Einheitlichkeit des Prosoma ergibt sich durch das Vorhandensein einer Rückenplatte (Carapax) und einer Bauchplatte (Sternum). Carapax und Sternum bilden dadurch ein starres Außenskelett und können nur an bestimmten weichhäutigen Stellen, den Pleuren, gegeneinander bewegt werden (Storch und Welsch, 2014).

Vom Prosoma gehen insgesamt sechs Paar Extremitäten aus (Storch und Welsch, 2014):

- vier Paar Beine (Abb. 2/1)
- ein Paar Pedipalpen (Palpen, Kiefertaster, Abb. 2/2)
- ein Paar Cheliceren (Kieferklauen, Abb. 2/3)

Durch zwei flache Furchen, die von der Mitte des Sternums nach vorne ziehen, kann das Prosoma in einen Kopf- und Thorakalabschnitt geteilt werden. Am Kopfabschnitt liegen die Cheliceren und die Augen, am Thorakalabschnitt die vier Paar Laufbeine und die Pedipalpen.

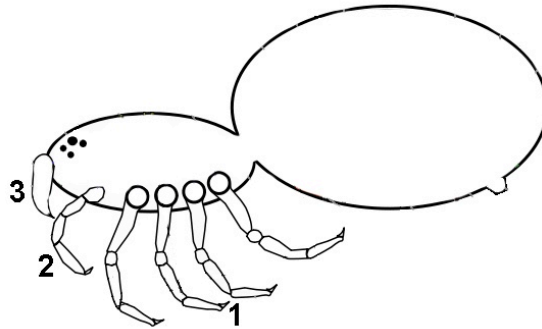


Abbildung 2, Körperanhänge des Prosomas. Insgesamt gehen vom Prosoma sechs paarige Körperanhänge aus. 1 = 4 Beinpaare, 2 = Pedipalpen, 3 = Cheliceren (bearbeitet nach Philcha, 2009, Public Domain, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spider_main_organs_labelled.png, Download am 3.5.2016).

2.3.1 Laufbeine

Jedes Laufbein eines Spinnentiers ist gleich gegliedert und die Beine werden von vorne nach hinten mit Beinpaar I-IV bezeichnet. Das Beinpaar I kann oft nach vorne gerichtet sein und eine Tastfunktion ausüben.

Insgesamt besteht jedes Laufbein aus sieben Gliedern, die meist in zwei Richtungen und mit unterschiedlicher Stärke abgewinkelt werden können. Die Verbindung zum Körper ist die Coxa (Hüfte), die zwischen Carapax und Sternum entspringt. Die weiteren Glieder sind Trochanter (Schenkelring), Femur (Schenkel), Patella (Knie), Tibia (Schiene), Metatarsus (Ferse) und Tarsus (Fuß; Abb. 3; Storch und Welsch, 2014).

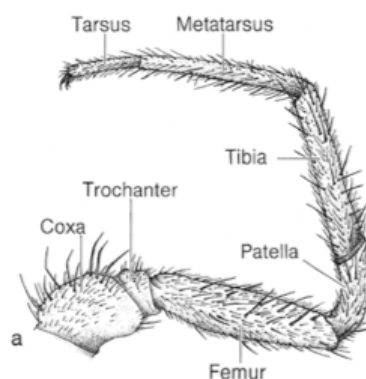


Abbildung 3, Gliederung eines Laufbeines. Jedes Laufbein besteht aus sieben Gliedern und ist dicht mit Haaren besetzt (aus Storch und Welsch, 2014).

Am Tarsus können zwei oder auch drei Krallen vorhanden sein. Die Klauen an den Tarsen dienen dem Festhalten. Eine vorhandene Mittelklaue hat meist

einen großen Vorteil beim Spinnen des Netzes, da der Spinnfaden durch eine weitere Klaue besser gehalten und ergriffen werden kann (Foelix, 2015).

Eine Besonderheit bei den meisten Laufspinnen und einigen Vogelspinnen sind die sogenannten Scopulae. Mit Scopula bezeichnet man ein dichtes Büschel an Hafthaaren. Bei Laufspinnen befinden sich diese unter den Klauen. Bei Vogelspinnen kann der gesamte Tarsus und oft sogar der gesamte Metatarsus mit diesen Hafthaaren besetzt sein. Durch diese große Anzahl an Hafthaaren verstärken sich die Adhäsionskräfte zwischen Spinne und Substrat, wodurch eine Fortbewegung über Kopf und an glatten Oberflächen problemlos möglich ist (Foelix, 2015). Die in Mitteleuropa häufige Winkelspinne *Tegenaria* aus der Familie der Trichterspinnen (*Agelenidae*) hat keine Scopula, wodurch sie glatte Oberflächen nicht überwinden kann. Daraus ergibt sich, dass sie häufig in Badewannen gefunden wird, da sie die glatte Oberfläche von Fliesen und Sanitäracryl nicht überwinden kann (Foelix, 2015).

Prinzipiell sind die Spinnenbeine stark mit Sinneshaaren besetzt, die als Mechanorezeptoren fungieren und deren Aufgabe es ist, Vibrationen des Untergrundes oder den Luftstrom wahrzunehmen (vgl. 3.4 Spezielle Sinnesorgane; Barth, 2001).

2.3.2 Pedipalpen, Mundwerkzeuge und Cheliceren

Pedipalpen (Kiefertaster) sind im Aufbau und der Gliederung ähnlich den Laufbeinen, haben aber eine ganz andere Funktion als die Fortbewegung. Sie sind kürzer als die Beine und es sind statt sieben Gliedern nur sechs vorhanden. Der Metatarsus fehlt. Die Pedipalpen setzen direkt vor dem Laufpaar I am Prosoma an und sind nach vorne gerichtet (Foelix, 2015).

Prinzipiell dienen die Pedipalpen als Tastwerkzeuge und sind daher für den Beutefang von großem Nutzen. Die Palpenhöften (Coxa) können dabei zu Maxillen (Kauladen) differenziert sein und daher bei der Nahrungsaufnahme als Kauwerkzeuge fungieren. Diese Differenzierung findet sich aber nicht bei allen Spinnenordnungen, sondern nur bei den *Labidognatha*. Die Vorderkante dieser Kauladen ähnelt durch ihre gezackte Form einer Säge und wird auch wie eine Säge bei der Nahrungszerkleinerung eingesetzt (Foelix, 2015).

Araneae verdauen generell extraintestinal. Dazu bringen sie Verdauungsenzyme auf die tote Beute auf und saugen anschließend zersetztes Gewebe auf. Die Innenseiten der Maxillen dienen dabei als Filter. Sie sind im Gegensatz zur Vorderkante von einem Haarsaum besetzt, wodurch die flüssige Nahrung von zu großen Partikeln getrennt wird, bevor sie aufgenommen wird (Foelix, 2015).

Die Pedipalpen können auch abgewandelt sein und weitere Funktionen ausüben. Bei männlichen Spinnen sind etwa die Tarsen der Pedipalpen zu einem Begattungsorgan umgebildet. Man nennt einen Palpentarsus, der der Spermaübertragung dient, Cymbium. Diese Pedipalpentarsen sind je nach Art spezifisch und können daher als sicheres Merkmal zur Artbestimmung herangezogen werden (Foelix, 2015).

Weiters ist die Ausbildung der Cheliceren ein wichtiger Faktor für die Nahrungsaufnahme. Die Cheliceren, oder auch Kieferklauen genannt, sind die vordersten Gliedmaßen des Prosomas und beinhalten den Giftkanal, der zum Beutefang unbedingt notwendig ist (Abb. 4; Storch und Welsch, 2014). Alle *Araneae* sind Jäger, die ihre Beute mit Gift, das bei einem Biss injiziert wird, töten. Dabei wird die Giftklaue, die den vorderen Teil einer Chelicere bildet und in die der Giftkanal mündet, in die Beute gestoßen. Diese Klaue ist beweglich und sitzt auf dem Grundglied auf (Abb. 4; Storch und Welsch, 2014).

Die Klaue ist in Ruhestellung zum Grundglied gerichtet und liegt in einer Furche. Beim Zubeißen werden die beiden Klauen wie ein Taschenmesser ausgeklappt und in die Beute gerammt. Der Giftkanal mündet nicht direkt am spitzen Ende der Giftklaue, sondern kurz davor und ähnelt einer Injektionsnadel. Das bringt den Vorteil, dass der Giftkanal nicht verstopfen kann und bietet zusätzlich bessere Stabilität (Foelix, 2015).

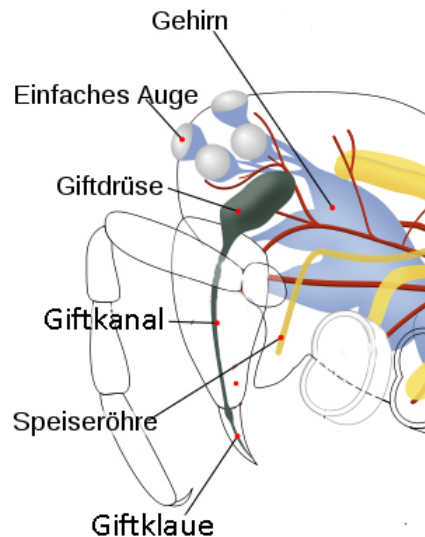


Abbildung 4, Kopfabchnitt des Prosomas. Die Cheliceren sind in zwei Abschnitte gegliedert: Das Grundglied und die bewegliche Giftklaue. Durch den Giftkanal strömt das Gift von der Giftdrüse in die Beute (bearbeitet nach John Henry Comstock, 2009, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spider_internal_anatomy-en.svg, Download am 6.3.2016).

Neben dem Beutefang und der Verteidigung, dienen die Cheliceren auch als Greifwerkzeuge. Viele Familien weisen einen leicht gezähnten Hinterrand der Cheliceren auf. Es wird vermutet, dass diese raue Kante zum Abschneiden von Spinnfäden dient (Peters, 1982). Die Cheliceren können noch weitere Aufgaben übernehmen und daher je nach Funktion in einer Familie abgewandelt sein. Die Kieferklauen können zum Tragen des Ekokons (*Pisauridae*, Raubspinnen) oder der Beute (*Araneidae*, Netzspinnen) dienen, oder sie können etwa zum Graben von Röhren eingesetzt werden (*Ctenizidae*, Falltürspinnen) (Foelix, 2015). Die Familien *Tetragnathidae* (Streckerspinnen) und *Dictynidae* (Kräuselspinnen) benutzen die Cheliceren zum Festhalten des Partners während der Kopulation, während Baldachinspinnen (*Linyphiidae*) auf den Cheliceren Stridulationsorgane besitzen und verwenden diese daher zur Lautäußerung (Foelix, 2015).

Die Mundöffnung liegt bei Araneae zwischen den Maxillen. Den Bereich vor der Mundöffnung bezeichnet man als Rostrum (Oberlippe), den Bereich dahinter als Labium (Unterlippe). An die Mundöffnung schließt der Pharynx (Schlund) an, der von Cuticulaplaten ausgekleidet ist. Diese Cuticulaplaten haben eine

raue Oberfläche und feine Rillen, durch die der aufgenommene, vorverdaute Nahrungsbrei gefiltert wird.

2.3.3 Augen

Meist besitzen Spinnen acht Augen, die als Ocellen ausgebildet sind. Die Familien *Dysderidae*, *Sicariidae* und *Pholcidae* besitzen sechs Augen (Foelix, 2015). Die Anzahl der Augen kann je nach Anpassung an den Lebensraum des Tieres noch weiter reduziert werden. So gibt es auch Spinnen die nur vier oder zwei Augen besitzen. Es gibt auch Vertreter, die ausschließlich in Höhlen leben und deren Augen im Laufe der Evolution komplett zurückgebildet wurden. Ein Beispiel dafür ist *Adelocosa anops* (Foelix, 2015).

Die Anzahl und die Anordnung der Augen ist ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal für die verschiedenen Spinnenfamilien. Die acht Augen sind in zwei Reihen angeordnet und man fasst jeweils zwei Augen aufgrund ihrer Lage in Paare zusammen (Abb. 5; Foelix, 2015).

Es ergeben sich dadurch:

- vordere Mittelaugen (anterior median, AM)
- vordere Seitenaugen (anterior lateral, AL)
- hintere Mittelaugen (posterior median, PM)
- hinteren Seitenaugen (posterior lateral, PL)

(Barth, 2001)

Die vorderen Mittelaugen (AM) werden auch als Hauptaugen bezeichnet. Die anderen drei Paar Augen werden unter den Begriff Nebenaugen zusammengefasst (Barth, 2001). Diese Einteilung beruht auf Unterschiede im anatomischen Aufbau und in der Funktion der Augen.

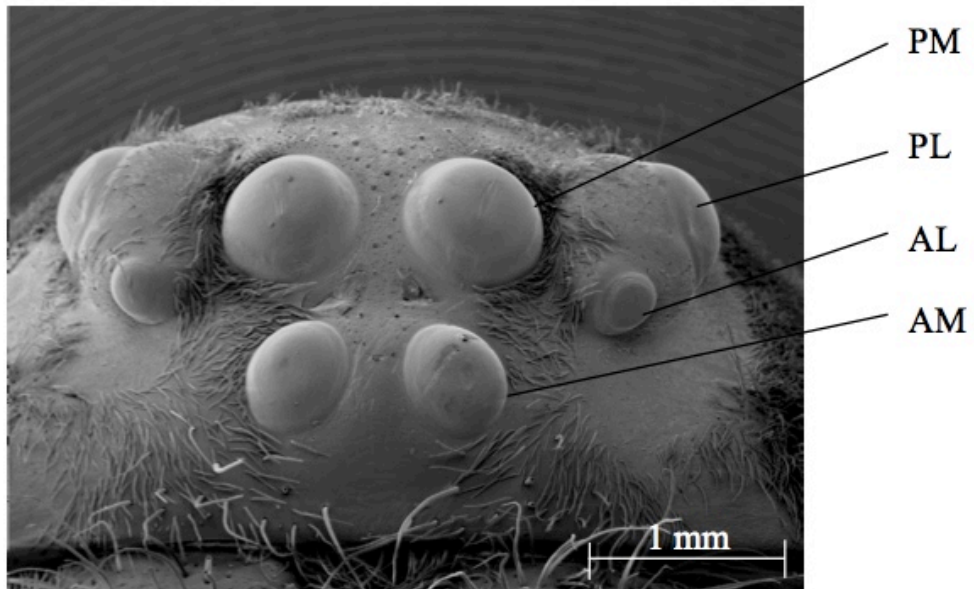


Abbildung 5, REM-Bild der Anordnung der acht Augen von *C. salei*. Die AM- und AL-Augen bilden die Vorderreihe, die PM- und PL-Augen bilden die Hinterreihe. AM= anterior-median, AL= anterior-lateral, PM= posterior-median, PL= posterior-lateral (aus Zopf, 2010).

Alle Augen sind als Ocellen ausgebildet. Sie besitzen eine Linse, durch die das einfallende Licht gebrochen wird. Zwischen der Linse und den Photorezeptoren, die in der Retina eingebettet sind befindet sich der Glaskörper (Abb. 6). Die Linse besteht aus Cuticula, der darunter liegende Glaskörper aus Zellen. Die Photorezeptoren sind langgestreckte Zellen, auf dessen fadenförmigem Fortsatz sich viele feinstrukturierte Fortsätze (Mikrovilli) befinden. Diese Mikrovilli werden als Rhabdomere bezeichnet und bilden die lichtempfindlichen Regionen der Sehsinneszellen (Foelix, 2015). In Studien fand man heraus, dass sich die Rhabdomere von etwa *C. salei* (*Ctenidae*) wie beim Menschen erneuern und auch einen ständigen Auf- und Abbau unterliegen (Grusch et al. 1997). Das hat besonders mit der Lebensweise der Spinne zu tun. Bei diesem nachtaktiven Lauerjäger, der keine Netze zum Beutefang baut, sind die Rhabdomere während des Tages zurückgebildet, nachts werden sie aktiviert und liegen in einer viel größeren Zahl vor (Grusch et al. 1997).

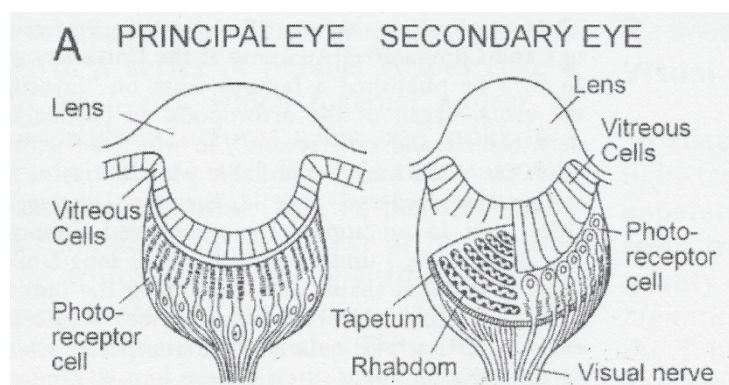


Abbildung 6, Aufbau von Haupt- (links) und Nebenaugen (rechts). Bei Nebenaugen ist ein Tapetum vorhanden (nach Barth, 2001).

Die Anordnung dieser Rhabdomere unterscheiden sich stark bei den Haupt- und Nebenaugen. Bei den Hauptaugen liegen die Rhabdomere dem einfallenden Licht zugewandt und der Zellkern befindet sich am hinteren Ende des Auges (Barth, 2001). Es handelt sich somit um everse Augen. Bei den Nebenaugen handelt es sich um inverse Augen. Das bedeutet, dass die Rhabdomere dem einfallenden Licht abgewandt positioniert sind (Barth, 2001). Auch Vertebraten besitzen inverse Augen. Die lichtempfindlichen Rhabdomere sitzen in der Nähe des Tapetums, der Zellkern näher der Linse (Abb. 6). Wenn Licht ins Auge gelangt, so werden die Rhabdomere aktiviert und das Licht trifft anschließend auf das Tapetum. Das Tapetum ist eine reflektierende Schicht, die nur in den Nebenaugen vorkommt (Abb. 6). Durch die Reflexion des Lichts am Tapetum werden die Rhabdomere ein zweites Mal stimuliert und nehmen Licht effektiver wahr (Barth, 2001).

2.3.4 ZNS, Giftdrüsen und Saugmagen

Das Prosoma enthält nur einen kleinen Teil der inneren Organe, der Großteil ist im Opisthosoma angelegt. Das Prosoma ist Sitz des zentralen Nervensystems, das aus einem Ober- und einem Unterschlundganglion besteht (Abb. 7/1 und Abb. 7/2). Die Grenze zwischen Ober- und Unterschlundganglion ist der Oesophagus. Das Chelicerenganglion liegt in Embryonalstadien noch unter dem Oesophagus. Erst im Laufe der Embryonalentwicklung wandert dieses Ganglion nach vorne. Deswegen wird das Oberschlundganglion oft als Syncerebrum bezeichnet, da an das eigentliche Gehirn, das Protocerebrum, das Chelicerenganglion anliegt (Foelix, 2015).

Das Unterschlundganglion setzt sich aus zwei Pedipalpenganglien, acht Beinganglien und fusionierten Abdominalganglien zusammen (Barth, 2001). Es ist demnach größer als das Oberschlundganglion. Diese Assoziationszentren werden oft als „eigentliches Gehirn“ bezeichnet (Barth, 2001). Man kann histologisch das Zentralnervensystem in Neuropil und Cortex unterscheiden. Neuropil ist ein zentral gelegenes Nervenfasergeflecht an dessen Rand eine Schicht Nervenzellen angrenzt. Diese Nervenzellschicht ist der Cortex (Foelix, 2015).

Die acht Augennerven führen in das Oberschlundganglion. Die anderen Nerven münden in das Unterschlundganglion. Bei ursprünglicheren Spinnen und Jungtieren ist noch eine Segmentierung der Ganglien zu erkennen. Die Kompaktimierung in Unter- und Oberschlundganglion, wie man es von adulten Spinnen kennt, ist erst nach einigen juvenilen Stadien abgeschlossen. Diese Segmentierung erinnert an das Strickleiternnervensystem, das bei vielen anderen Arthropoden vorliegt (Foelix, 2015).

Neben dem Zentralnervensystem (Abb. 7/1 und Abb. 7/2) liegt ein Paar Giftdrüsen (Abb. 7/3) und ein Saugmagen (Abb. 7/4) im Prosoma. Die kleinen Giftdrüsen sitzen bei Vogelspinnen in dem Grundglied der Cheliceren. Die meisten anderen Spinnen besitzen Giftdrüsen, die weit in das Prosoma hineinreichen (Foelix, 2015).

Der Oesophagus (Speiseröhre), der an den Pharynx (Schlund) der Spinne anschließt und die Verbindung zum Gaster (Magen) ist, ist sehr dünnwandig und zieht durch das Zentralnervensystem. Der Saugmagen (Abb. 7/4) dient bei der Nahrungsaufnahme als eine Art Pumpe. Durch eine starke Ring- und Längsmuskulatur in der Magenwand wird das Lumen des Magens stark vergrößert und viel Nahrung kann schnell durch eine kleine Mundöffnung bzw. Schlund und Speiseröhre gesaugt werden (Foelix, 2015).

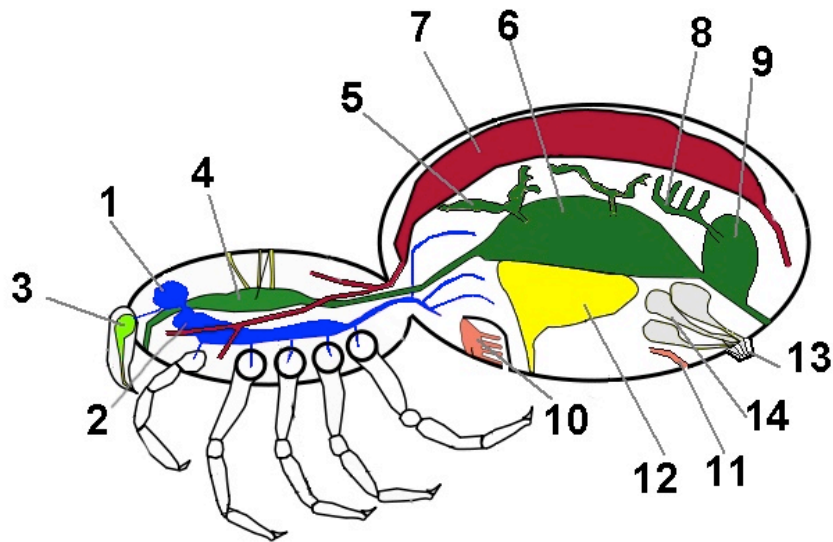


Abbildung 7, Lage der Inneren Organe des Pro- und Opisthosomas. Im Prosoma befinden sich das ZNS, die paarigen Giftdrüsen und die ersten Abschnitte des Verdauungstraktes (Rostrum, Oesophagus, Gaster). Alle weiteren Organe befinden sich im Opisthosoma. 1...Oberschlundganglion, 2...Unterschlundganglion, 3...Giftdrüse, 4...Saugmagen, 5...Darmdivertikel, 6...Mitteldarm, 7...Herz, 8...Malphigische Gefäße, 9...Kloake mit After, 10...Buchlung mit Lungenschlitz, 11...Tracheen, 12...Ovar mit Geschlechtsöffnung, 13...Spinnwarzen, 14...Spinnrüden; (bearbeitet nach Philcha, 2009, Public Domain, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spider_internal_anatomy-en.svg, Download am 9.3.2016).

2.4 Das Opisthosoma

Am Opisthosoma ist wie beim Prosoma keine Segmentierung erkennbar. Es ist jedoch von keiner Bauch- und Rückenplatte umgeben und somit weithäutiger und dehnbarer als das Prosoma (Foelix, 2015). Im Opisthosoma befinden sich viele Organe die wichtige vegetative Aufgaben erfüllen.

Die Organe inklusive ihrer Aufgabe, wie Exkretion, Blutkreislauf, Verdauung, Fortpflanzung, Atmung und Spinnseidenherstellung sollen jetzt im Einzelnen besprochen werden.

2.4.1 Verdauungstrakt und Nahrungsaufnahme

Nachdem die Beute überwältigt und durch einen Giftbiss oder durch das Einspinnen mit Seide bewegungsunfähig ist, wird die Beute extraintestinal, also

außerhalb des Körpers vorverdaut. Die Spinne bringt dazu Verdauungssekrete auf die Beute auf. Diese Verdauungssäfte werden in den Darmdivertikeln (Abb. 7/5) gebildet und auf die Beute erbrochen (Foelix, 2015). Die Darmdivertikel nehmen den Großteil des Opisthosomas ein. Die Beute zersetzt sich und kann anschließend durch die Saugwirkung des Magens über das Rostrum, den Pharynx und den Oesophagus aufgenommen und in den Magen transportiert werden. Sind zu große oder sehr harte Gewebeteile vorhanden, so werden diese zuvor noch mit den Cheliceren verkleinert und bearbeitet, sodass die Beute vor der Aufnahme bis zur Unkenntlichkeit deformiert ist. Spinnen, die keine Cheliceren besitzen, wie bei *Theridiidae* (Kugelspinnen) und *Thomisidae* (Krabbenspinnen), haben eine andere Methode zur Nahrungsaufnahme entwickelt (Foelix, 2015). In das Beutetier wird eine kleine Wunde gebissen und die Verdauungssäfte in die Beute injiziert. Das aufgelöste Körperinnere kann anschließend aufgesaugt werden. Die äußere, feste Körperhülle bleibt fast unverändert bestehen (Foelix, 2015).

Wie bereits in 3.2.4 erläutert, gelangt die Nahrung über die Saugwirkung des Magens über den Pharynx und den Oesophagus in den Magen. Der Magen und der vordere Abschnitt des anschließenden Mitteldarms befinden sich noch im Prosoma. Der Mittel- und Hinterabschnitt des Mitteldarmes befinden sich im Opisthosoma (Abb. 7/6). Dort erfolgt die Endzerlegung der Nahrung in die einzelnen Nährstoffe, die anschließend resorbiert werden. Der Mitteldarm und seine abgehenden Darmdivertikel bestehen aus vielen Verzweigungen und füllen einen Großteil des Opisthosomas aus. Die anderen Organe des Opisthosomas liegen meist eingebettet in den Darmdivertikel, sodass sich oft der Verlauf des Mitteldarmes schwer nachvollziehen lässt (Foelix, 2015).

Die große Zahl an Darmdivertikeln hat den Vorteil der Oberflächenvergrößerung. In dem Epithel der Darminnenwand kommen zwei verschiedene Zelltypen vor, die bezüglich ihrer Funktion in Sekretions- und Exkretionszellen unterschieden werden (Foelix, 2015). Die Sekretionszellen geben Verdauungsenzyme ab, die als Granula in den Zellen gespeichert sind und dadurch als große dunkle Einheiten unter dem Mikroskop gut bestimmt werden können. Die Exkretionszellen erkennt man an den vielen unregelmäßigen

Nahrungsvakuolen, die Nährstoffe aufnehmen (Foelix, 2015). Die resorbierten Nährstoffe werden anschließend an das darunterliegende Gewebe beziehungsweise an die Haemolymph weitergegeben. Durch das immense Volumen des Verdauungstrakts können Spinnen Nahrung und Nährstoffe sehr gut und lange speichern und dadurch Nahrungsengpässe ausgleichen. Vogelspinnen können lang ohne Nahrung überleben bzw. nehmen sie oft nach einer ausgiebigen Beute monatelang keine Nahrung zu sich (Foelix, 2015).

Gut erkennbar im hinteren Teil des Opisthosomas ist die Kloake, eine taschenartige Kottasche, die einen Teil des Endabschnittes des Darmes bilden. In der Kloake wird der Kot gesammelt. Weiters münden die Exkretionsorgane in die Kloake. Die Exkremente werden über einen kurzen Enddarm zum Anus transportiert und anschließend ausgeschieden (Foelix, 2015).

2.4.2 Herz und Blutkreislauf

Spinnen besitzen wie die meisten wirbellosen Tiere ein offenes Blutkreislaufsystem.

Vom Herzen (Abb. 8 und Abb. 7/7) leiten große Arterien, die sich auch in kleinere Arteriolen aufgliedern, das Blut ins Prosoma und verteilen es im Opisthosoma (Foelix, 2015). Spinnen fehlen jedoch Kapillaren, die Muskeln und Organe direkt mit Sauerstoff versorgen. Die Arteriolen enden in Blutlakunen an der Opisthosomaunterseite. Die Organe werden mit Haemolymph umspült bevor sie aufgrund des Druckgefälles im Körper zur Buchlung (Abb. 8 und Abb. 7/10) und anschließend zurück zum Herzen transportiert wird (Foelix, 2015).

Das längliche, röhrenförmige Herz liegt im dorsalen, vorderen Bereich des Opisthosomas. Es ist von einer weitlumigen Kammer, dem Pericardialsinus, umgeben und durch Ligamente im Pericardialsinus aufgehängt (Abb. 8; Foelix, 2015). Das muskulöse Herz und der Pericardialsinus sind durch zwei oder drei Paar Ostien verbunden. Ostien sind Spalten, durch die die Haemolymph aus dem Pericardialsinus in das zentrale Herzlumen strömt (Storch und Welsch, 2014).

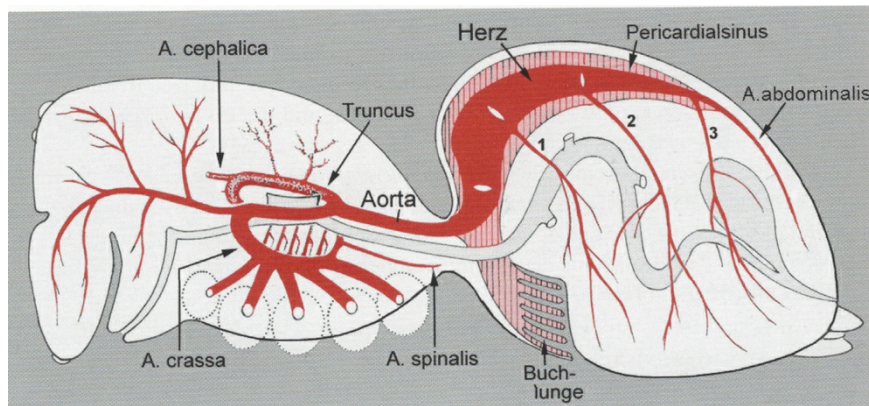


Abbildung 8, Offenes Blutkreislaufsystem der Araneae. Das Herz liegt im dorsalen Bereich des Opisthosomas und pumpt das Blut (Haemolymphe) durch Arterien und Arteriolen in den Körper. Es sammelt sich in Lakunen und fließt über die Buchlung zurück zum Herzen. Venen und Kapillaren gibt es nicht. 1-3...Seitenarterien des Opisthosomas (nach Foelix, 2015).

Kontrahiert das Herz (Systole), so schließen sich die Ostien und das Herz verlängert sich. Die Haemolymphe wird ausgepumpt und gelangt durch die Aorta anterior, die durch den Petiolus verläuft, in das Prosoma und durch die Aorta posterior in das Opisthosoma (Foelix, 2015). Im Bereich des Saugmagens teilt sich die Aorta anterior in die Kopfarterie (Arteria cephalica) und die Beinarterie (Arteria crassa) auf (Abb. 8). Die Kopfarterie versorgt das Oberschlundganglion, die Cheliceren und die Mundwerkzeuge mit Sauerstoff. Die Beinarterie teilt sich weiter auf und zieht in jedes Laufbein. Eine weitere Verzweigung der A. crassa bildet die Arteria spinalis und versorgt das Unterschlundganglion (Abb. 8; Foelix, 2015). Ins Opisthosoma ziehen neben der Aorta abdominalis nur zwei bis drei Paar opisthosomale Seitenarterien (Abb. 8; Foelix, 2015). Die Organe des Opisthosomas werden hauptsächlich durch die Röhrentracheen direkt mit Sauerstoff versorgt.

Tritt die Haemolymphe aus den offen endenden Arterien, so umspült diese die Organe, gibt Sauerstoff ab und nimmt Kohlendioxid aus den Zellen auf. Das sauerstoffarme Blut sammelt sich dann in Blutlakunen im ventralen Bereich des Opisthosomas. Durch das Druckgefälle im Körper strömt die Haemolymphe zurück Richtung Herz. Dabei passiert es die Buchlung, die im ventralen vorderen Teil des Opisthosomas liegt und für den Gasaustausch verantwortlich ist (Foelix, 2015).

Auf die Systole folgt die Entspannungsphase des Herzens, die sogenannte Diastole. Dabei entspannt sich die quergestreifte Herzmuskulatur und das Herzlumen erweitert sich. Es entsteht ein Unterdruck und die mit Sauerstoff

angereicherte Haemolymph wird aus der Buchlunge zurück in das Herz gesaugt. Die Diastole entsteht, indem sich die Ligamente zusammenziehen und dadurch das kontrahierte Herzrohr wieder auseinanderziehen (Foelix, 2015). Die Ostien öffnen sich und die Haemolymph strömt über die Ostien vom Pericardialsinus in das Herzlumen ein.

Der Herzschlagrhythmus ist neurogen durch ein Ganglion gesteuert. Dieses liegt auf der dorsalen Seite des Herzrohres.

In der Haemolymph sind die Blutzellen, die sogenannten Haemocyten, enthalten. Haemocyten sind an Abwehrreaktionen, Blutgerinnung und Wundverschluss beteiligt und können in mehrere verschiedene Zelltypen unterschieden werden (Foelix, 2015). Das Atmungspigment bei Spinnen ist das Haemocyanin. Haemocyanin ist im chemischen Aufbau Haemoglobin sehr ähnlich, besitzt jedoch kein Eisen-Zentralkomplex, sondern ein Kupferatom (Foelix, 2015). Das Haemocyanin ist nicht wie etwa beim Menschen in eigenen Blutzellen (vgl. Erythrozyten) konzentriert sondern ist in der Lymphe gelöst. Weiters kann Haemocyanin verglichen mit Haemoglobin Sauerstoff schlechter binden und liegt prinzipiell in geringeren Konzentrationen vor (Foelix, 2015). Somit können Spinnen Sauerstoff schlechter aufnehmen als Menschen. Jedoch benötigen Spinnen sehr wenig Sauerstoff, da sie sich meist in einem Ruhezustand befinden und ihre Aktivität und Stoffwechselfunktionen stark herabgesenkt haben.

2.4.3 Buchlunge, Tracheen und Atmung

Spinnen beziehen ihren Sauerstoff über die Buchlungen und über Röhrentracheen. Ursprünglichere Arten wie die *Mesothelae* besitzen zwei Paare Buchlungen, jedoch keine Tracheen, wodurch die Buchlungen als das ursprünglichere Atmungssystem bei den Araneae angesehen wird (Foelix, 2015).

Die paarigen Buchlungen werden auch Fächertracheen oder Fächerlungen genannt und sind streng lokalisiert im vorderen ventralen Bereich des Opisthosomas (Abb. 8 und Abb. 7/10). Äußerlich kann die Lage der Buchlungen

durch die Lungenschlitze erkannt werden, durch die Luft in das Körperinnere der Spinne dringt. Die Lungenschlitze liegen hinter einem unbehaarten Cuticulaplättchen, das den Lungendeckel bildet (Abb. 8 und Abb. 7/10; Foelix, 2015).

Durch den Lungenschlitz gelangt die Atemluft in den Atemvorhof (Atrium). Dort ragen Atemtaschen zwischen Lungenausstülpungen, die mit sauerstoffarmer Haemolymph gefüllt sind (Abb. 9; Foelix, 2015). Der Aufbau, der sich durch abwechselnde Gewebelamellen und Atemtaschen ergibt, ähnelt einem Buch und war daher namensgebend für diesen Lungentyp (Abb. 9). An der Struktur dieses Lungentyps erkennt man sehr gut das Prinzip der Oberflächenvergrößerung. Durch die abwechselnden Lamellen und Lufträume steigt das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen zu Gunsten der Oberfläche und mehr Fläche steht für den Gasaustausch zur Verfügung.

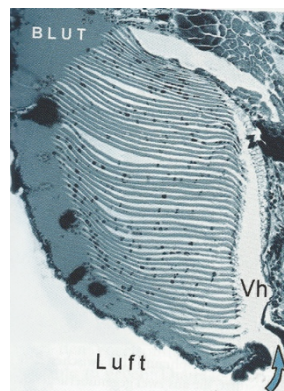


Abbildung 9, Mikroskopischer Längsschnitt einer Buchlung. Die Atemluft gelangt über die Lungenschlitze in den Atemvorhof (Vh). Die Haemolymph in den Blättern werden von Atemluft umströmt und es kommt zum Gasaustausch (nach Foelix, 2015).

Die etwa 100 „Blätter“ der Buchlung als auch der Atemvorhof sind von einer Cuticulaschicht ausgekleidet, um die nötige Stabilität für luftgefüllte Räume zu bieten. Auch auf der Außenseite bzw. in den Lamellen befinden sich kleine Cuticulastreben, die Stabilität bieten und ein Zusammenkleben der Lamellen und dadurch ein Kollabieren der Lufträume verhindern (Foelix, 2015).

Die sauerstoffarme Haemolymph, die in ventralen Blutlakunen gesammelt wird, passiert bevor sie zum Herzen zurückfließt die Fächerlung. Der Lungensinus liegt ganz vorne im Opishosoma. Der Lungensinus kann als eine Art Sammelbecken für sauerstoffarme Haemolymph gesehen werden. Neben

der Haemolymphe aus dem Prosoma strömt auch die sauerstoffarme Haemolymphe aus dem hinteren Teil des Opisthosomas in den Lungensinus (Foelix, 2015). Anschließend fließt das sauerstoffarme Blut von dem Lungensinus in die Lungenlamellen der Lunge, die zwischen den Atemtaschen liegen. Der Gasaustausch zwischen Blättchen und Atemluft erfolgt durch Diffusion. Obwohl die Lamellen von einer Cuticula bedeckt sind, stellt diese durch ihre geringe Dicke keine Diffusionsbarriere dar und das Kohlenstoffdioxid kann aus der Haemolymphe an die Atemluft abgegeben und Sauerstoff aufgenommen werden (Foelix, 2015). Die Lamellen der Buchlungen werden ständig von sauerstoffreicher Luft umströmt indem im Vorhof durch Muskelkontraktionen immer wieder sauerstoffreiche Luft ein- und sauerstoffarme Luft ausdiffundiert (Storch und Welsch, 2014).

Die sauerstoffangereicherte Haemolymphe verlässt seitlich die Fächerlungen und strömt in die Lungenvene. Die Lungenvene ist ein Synonym für den abführenden Sinus, der in den Pericardialsinus des Herzens übergeht (Foelix, 2015). Da *Araneae* ein offenes Blutgefäßsystem und daher keine Venen und Kapillaren besitzen ist diese Bezeichnung jedoch irreführend und sollte daher vermieden werden. Kommt das Herz in die Phase der Diastole, so erweitert sich das Herzlumen und durch den Unterdruck strömt die Haemolymphe vom Pericardialsinus in das Herzlumen. Der Kreislauf ist geschlossen.

Neben den Buchlungen besitzen höhere Spinnen - wie bereits erwähnt – Tracheen. Diese Tracheen sind als Röhren ausgebildet und befinden sich hinter den Buchlungen. Äußerlich können sie durch die Stigmen, die sich bei den Spinnwarzen befinden lokalisiert werden (Abb. 10). Die Röhrentracheen bestehen aus vier Hauptröhren. Die seitlichen Röhren sind eine Homologie zu den Buchlungen. Die medianen Röhren haben sich hingegen im Laufe der Evolution aus cuticulären Muskelansatzstellen entwickelt (Foelix, 2015). Die Gestalt der Röhrentracheen ist vielfältig. In einfachen Fällen beschränken sich die Tracheen auf das Opisthosoma, sie können sich aber auch verzweigen und bis ins Prosoma vordringen (Foelix, 2015).

Die Tracheenwand ist sehr dünn (0,1-0,3µm), wodurch der Sauerstoff leicht durch die Wand diffundieren kann (Foelix, 2015). Im Gegensatz zu den Tracheen der *Insecta*, die sich immer weiter verzweigen und die Organe direkt

mit Sauerstoff versorgen, enden die Tracheen der *Araneae* immer offen (Foelix, 2015). Der Sauerstoff wird also immer an die Haemolymphe abgegeben, die dann die Organe umspült und den Sauerstoff an die Zellen liefert.

Wissenschaftler stellten sich die Frage, welches Atmungssystem bei den *Araneae* das effektivere ist. Man geht davon aus, dass sich die Ausbildung von Fächerlungen und Röhrentracheen wechselseitig beeinflussen. Bei Arten, die ein ausgeprägtes Röhrentracheensystem besitzen, sind die Buchlungen reduziert. Umgekehrt gilt für Spinnen mit gut ausgebildeten Buchlungen, dass sie nur einfache Röhrentracheen aufweisen (Foelix, 2015). Versuche zeigten, dass Spinnen mit ausgeprägten Röhrentracheen über eine größere Sauerstoffkapazität verfügen und bei Laufexperimenten besser abschnitten, als Spinnen mit gut entwickelten Buchlungen (Schmitz, 2005). Daher ist es möglich, dass die Atmungssysteme unterschiedliche Aufgaben bei der Sauerstoffversorgung übernehmen.

2.4.4 Spinnwarzen und Spinndrüsen

Die paarigen Spinnwarzen sind ein- bis mehrgliedrige Anhänge des Opisthosomas und liegen in unmittelbarer Nähe des Afters und der Tracheenstigmen (Abb. 10).

Insgesamt liegen meist drei Paar Spinnwarzen vor, die aufgrund ihrer Lage in vordere (anterior), mittlere (mediane) und hintere (posterior) Spinnwarzen geteilt werden (Abb. 10). An den Enden der Spinnwarzen mündet eine Vielzahl an Ausführgängen der Spinndrüsen in Form von Spinnspulen.

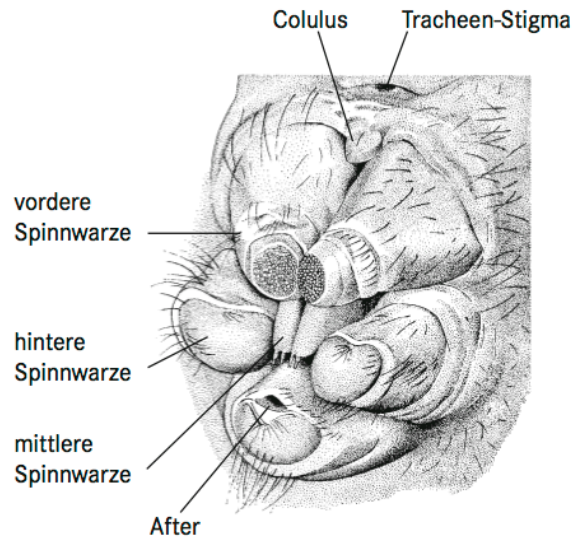


Abbildung 10, Anordnung der Spinnwarzen bei der Kreuzspinne (*Araneus diadematus*).
 Typischerweise liegen drei Paar Spinnwarzen (vordere, mittlere, hintere) am Ende des Opisthosomas (nach Foelix, 2015).

Systematisch kann man zwischen *Cribellata* und den *Ecribellata* unterscheiden, je nachdem wie sich ein weiteres Spinnwarzenpaar weiterentwickelt hat. Bei den *Cribellata* werden diese Spinnwarzen zu einer beweglichen Spinnplatte umgewandelt (Storch und Welsch, 2014). Diese Spinnplatte nennt man Cribellum. Bei den *Ecribellata* liegt kein Cribellum vor, sondern diese Spinnwarzen werden reduziert und ihre Ansätze sind nur noch durch einen kleinen Hügel, den Colulus, erkennbar (Abb. 10; Storch und Welsch, 2014).

Aufgrund einer gut entwickelten Muskulatur können die Spinnwarzen gegeneinander bewegt und in alle Richtungen ausgelenkt werden. Die Spinnwarzen werden wegen homologer Muskeln stammesgeschichtlich als rückgebildete Extremitäten angesehen, die sich im Laufe der Embryonalentwicklung zu Spinnwarzen entwickeln (Foelix, 2015). Diese Beweglichkeit der Spinnwarzen ist für den Netzbau unerlässlich. Die Eigenschaften der Spinnseide unterscheiden sich nämlich je nachdem in welcher Spinndrüse der Spinnfaden produziert wurde (Foelix, 2015). Daher müssen die Spinnwarzen koordiniert zusammenarbeiten.

Spinnspulen ähneln äußerlich Haaren, jedoch sind sie im Aufbau komplett unterschiedlich. Jede Spinnspule ist an der Basis zu einem Bulbus verdickt, aus der ein langer dünner Schaft austritt. Im Schaft verläuft der dünne Seidenkanal,

an dessen Öffnung die Spinnseide ausgezogen wird (Foelix, 2015). Die Spinnspulen selbst sind nicht beweglich.

Die Spinndrüsen liegen immer im Opisthosoma und reichen nicht in das Prosoma vor. Auch wenn es verschiedene Drüsentypen bezüglich ihrer Form und Funktion gibt, so folgen alle einem gemeinsamen Grundbauschema. Jede Drüse besteht aus einem sackförmigen Drüsenkörper und einen langen, oft gewundenen Ausführgang (Foelix, 2015). Im Drüsenkörper wird die Spinnseide sezerniert und als flüssiges Proteinsekret gespeichert. Diese Polypeptidkette besteht aus sogenannten Fibroinen (Foelix, 2015). Erhöht sich der Druck im Opisthosoma oder zieht die Spinne aktiv an dem Spinnfaden, der aus der Spinnspule ragt, so wird die Seide am Weg aus der Drüse chemisch verändert und erhält aufgrund der Zugspannung ihre Festigkeit (Foelix, 2015). Die chemischen Veränderungen beinhalten vor Allem Wasserentzug und Kompaktimierung der Proteinmoleküle (Foelix, 2015).

Es gibt verschiedene Typen von Spinndrüsen, die sich in Aufbau und produzierten Seidenfaden unterscheiden. Im Laufe der Evolution haben sich die Spinndrüsen spezialisiert und produzieren nur eine bestimmte Art von Spinnseide mit speziellen Eigenschaften (Foelix, 2015). Demnach muss beim Netzbau die Spinnseide aus verschiedenen Drüsen kombiniert werden.

Aufgrund von Morphologie und Histologie unterscheidet man sechs Drüsentypen, deren Spinnseide eine bestimmte Funktion erfüllt (Abb. 11; Foelix, 2015):

1. Glandulae piriformes
2. Glandulae ampullaceae
3. Glandulae aciniformes
4. Glandulae tubuliformes
5. Glandulae aggregates
6. Glandulae flagelliformes (coronatae)

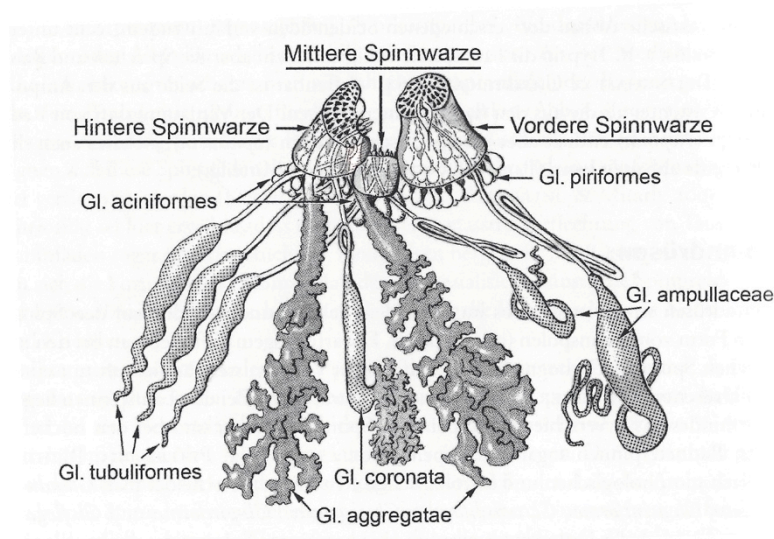


Abbildung 11, Spinnrüsen und Spinnwarzen der Radnetzspinne *Nephila*. Die Spinnrüsen unterscheiden sich in Form und Funktion und münden in verschiedene Spinnwarzen (aus Foelix, 2015).

Die piriformen Drüsen (*Gl. piriformes*) sind wie der Name beschreibt birnenförmig. Sie sind komprimierte, sackförmige Drüsen, deren Ausführungsgänge nur in die vorderen Spinnwarzen münden und kommen in einer großen Zahl vor (Abb. 11; Foelix, 2015). Sie sezernieren klebrige Spinnseide mit der andere Fäden am Untergrund über Haftpunkte befestigt werden.

Die Ampullendrüsen (*Gl. ampullaceae*) sind jene Drüsen, die am besten untersucht sind. Sie sind große, langgestreckte Drüsen, die in der Mitte eine Verdickung aufweisen. Die Enden sind lang und dünn auslaufend, die in Schlingen gelegt sind (Abb. 11). Die Spinnspulen der Ampullendrüsen befinden sich auf den vorderen und mittleren Spinnwarzen (Foelix, 2015). Die Ampullendrüsen produzieren Spinnseide, die als Leitfaden genutzt wird. Der Lauffaden und die Rahmenfäden werden ebenfalls von den Ampullendrüsen sezerniert (Foelix, 2015). Die Spinnseide weist eine hohe Festigkeit und eine hohe Dehnbarkeit zugleich auf, was eine einmalige und sehr vorteilhafte Eigenschaft darstellt. Der Lauffaden wird ständig hinter der Spinne hergezogen und kann mithilfe von Haftpunkten am Substrat befestigt werden. Die Rahmenfäden sind die äußeren Begrenzungen eines Spinnennetzes und geben dem Netz Form und Halt. Durch die Speichenfäden, die ebenfalls aus den Ampullendrüsen stammen wird das Grundgerüst des Spinnennetzes hergestellt (Foelix, 2015).

Die traubenförmigen Drüsen (*Gl. aciniformes*) sind wieder nach ihrem äußerlichen Erscheinungsbild benannt. Die vielen kleinen, sackförmigen

Drüsen sind wie Trauben angeordnet und münden über ihre Spinnspulen in die mittleren und hinteren Spinnwarzen (Abb. 11). Die Spinnseide der aciniformen Drüsen dient als Fesselfäden beim Beutefang. Auch die Außenwand des Kokons besteht aus dieser Spinnseide. Für männliche Spinnen ist dieser Typ von Spinndrüse bzw. Spinnseide unerlässlich, da Spermanetze aus dieser Seide hergestellt werden (Foelix, 2015).

Die röhrenförmigen Drüsen (Gl. tubuliformes) münden ebenfalls in die mittleren und hinteren Spinnwarzen (Abb. 11). Ihre sezernierte Spinnseide wird ebenfalls für den Kokonbau verwendet. Die Außenwand ist, neben den Spinnfäden aus den traubenförmigen Drüsen, zu gewissen Maße aus dieser Seide. Die Kokonseide, mit der das Innere des Kokons ausgekleidet wird besteht hauptsächlich aus diesem Drüsensekret. Dieser Drüsentyp kommt nur bei weiblichen Spinnen vor (Foelix, 2015).

Die beiden letzten Drüsentypen sind die Gl. aggregates und die Gl. flagelliformes, die auch als Gl. coronata bezeichnet wird. Diese beiden Drüsentypen kommen nur bei Radnetzspinnen vor, wobei die Gl. aggregates wieder nur bei den weiblichen Tieren ausgebildet ist (Foelix, 2015). Die Spinnseiden dieser beiden Drüsen dienen zur Produktion der Fangspiralen in den Radnetzen. Die geißelförmigen Drüsen (Gl. flagelliformes) liefern dazu den Achsenfaden und die aggregaten Drüsen den Klebstoff, an dem die Beute hängen bleibt (Foelix, 2015).

2.4.5 Geschlechtsorgane und Kopulation

Alle Spinnen sind getrenntgeschlechtlich und weisen meist einen sehr stark ausgeprägten Sexualdimorphismus auf. Die Weibchen sind dabei meist größer als die Männchen. Dieser Größenunterschied kann extreme Ausmaße annehmen. Untersuchungen ergaben, dass das Weibchen der tropischen Netzspinne *Nephila* durchschnittlich 125 mal so schwer ist wie das Männchen (Kuntner et al. 2012). Der größte berechnete Faktor bei dieser Studie war 502, d.h. dass ein Weibchen um das 502-fache schwerer war als das Männchen. Die Wissenschaftler fanden auch heraus, dass sich Weibchen auch im adulten Alter noch häuten und nach jeder Häutung an Größe zunehmen. Bei Männchen

treten im adulten Alter keine Häutungen mehr ein und die Tiere behalten ihre Größe bei (Kuntner et al. 2012).

2.4.5.1 männliche Geschlechtsorgane

Die Hoden (Testes) der Männchen liegen paarig im ventralen Bereich des Opisthosomas. Die beiden Ausführungsgänge (Vasa deferentia) leiten das Sperma zu der Geschlechtsöffnung, die sich im vorderen Bereich des Opisthosomas, in der Nähe der Buchlung befindet (Foelix, 2015). Wie bereits in 3.2.2 erwähnt, erfasst das Spinnenmännchen das Sperma nach der Abgabe aus der Geschlechtsöffnung mit den Pedipalpen, die für diese Aufgabe im Laufe der Evolution modifiziert wurden. Die Männchen bringen das Sperma mit den Pedipalpen in die Geschlechtsöffnung der Weibchen, die Epigyne, ein. Andere äußere Kopulationsorgane besitzen die Männchen nicht (Foelix, 2015).

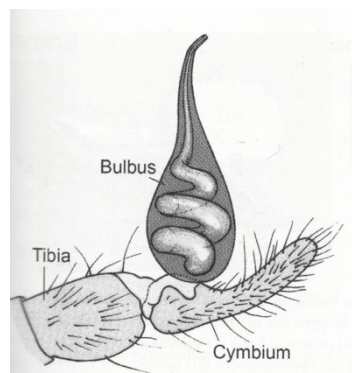


Abbildung 12, Pedipalpentarsus einer männlichen Spinne. Dem Tarsus (Cymbium) sitzt der Bulbus auf mit dem der Spermatropfen aufgenommen, gespeichert und in die weibliche Epigyne abgegeben werden kann (aus Foelix 2015).

Die Form der männlichen Pedipalentarsen und des weiblichen äußeren Geschlechtsorgan sind artspezifisch und für die Systematik der Araneae von großer Bedeutung. Es wird vermutet, dass Palpentarsus und Epigyne nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip zueinander passen und dadurch nur Kopulationen zwischen artgleichen Tieren möglich ist (Foelix, 2015).

Der Palpentarsus, der der Fortpflanzung dient, wird auch Cymbium genannt. Diesem Cymbium sitzt der sogenannte Bulbus auf. Der Bulbus ist eine birnenförmige Ausstülpung der Tarsuswand, die spitz zusammenläuft (Abb. 12;

Foelix, 2015). Die Spitze wird Stylus oder auch Embolus genannt und funktioniert ähnlich einer Pipette. Ein Spermatropfen kann dadurch aufgesaugt und im Samenschlauch (Spermatophor), der spiralig aufgewickelt ist, gespeichert werden (Foelix, 2015). Bevor Spinnenmännchen die Bulbi mit Sperma füllen, werden eigens dafür benötigte Spinnennetze, sogenannte Spermanetze, gebaut. Diese Netze sind meist dreieckig mit einer Größe von nur einigen Quadratmillimetern (Foelix, 2015). Der Bau kann trotzdem bis zu mehrere Stunden dauern. Auf das fertige Netz wird anschließend ein Spermatropfen aus der Genitalöffnung aufgebracht, der an den Fäden des Netzes hängen bleibt. Anschließend werden die Bulbi abwechselnd in den Spermatropfen getaucht und pipettenartig wird das Sperma aufgesaugt. Die erste Palpenfüllung erfolgt kurz nach der Reifehäutung und der Vorgang kann öfters wiederholt werden (Foelix, 2015).

2.4.5.2 weibliche Geschlechtsorgane

So wie die männlichen Hoden sind auch die weiblichen Ovarien (Eierstöcke) paarige Drüsen, die im ventralen Bereich des Opisthosomas liegen (Abb. 7/12). Die Ovarien vereinigen sich zum Eileiter (Uterus externus), der im Bereich der Buchlungen nach außen eine Geschlechtsöffnung bildet (Foelix, 2015).

Die Gruppe der entelegynen Araneae besitzen zusätzlich eine Epigyne, die den ursprünglicheren *Haplogyneae* fehlt (Foelix, 2015). Die Epigyne ist eine Cuticulaplatte, die in der Mitte der ventralen Opisthosomafurche über der Geschlechtsöffnung liegt und dadurch das äußere, oft sehr komplexe Kopulationsorgan der Weibchen bildet (Storch und Welsch, 2014). In die Geschlechtsöffnung münden bei den *Entelegynae* der Eileiter und die paarigen Receptacula seminis. In diese Samentasche führt bei der Kopulation das Männchen seine Bulbus spitze ein und gibt das Sperma ab (Foelix, 2015). In den Samentaschen kommt es jedoch nicht zur Befruchtung der Oocyten, sondern es kommt nur zur Speicherung der männlichen Samenzellen. Das bedeutet zugleich, dass Samenzellen von mehreren Männchen nacheinander aufgenommen werden können und geschlüpfte Nachkommen von unterschiedlichen Männchen stammen können (Foelix, 2015). Eine aktuelle

Frage der Forschung ist, ob Weibchen kontrollieren können, welche Samenzellen zur Befruchtung der Eizellen herangezogen werden und welche nicht. Bei der Befruchtung wandern die Spermien durch Befruchtungsgänge und vereinigen sich im Uterus externus mit der Eizelle. Die Eier werden portionsweise abgegeben und mit einem schützenden Kokon umhüllt, aus denen später die Jungtiere schlüpfen (Storch und Welsch, 2014).

Auf das ausgeprägte Balz- und Fortpflanzungsverhalten wird im Abschnitt 2.7.3 näher eingegangen.

2.4.6 Exkretion und Malpighische Gefäße

Die Aufgabe der Exkretion übernehmen bei Araneae hauptsächlich die Malpighischen Gefäße. Die beiden großen Röhren der Malpighischen Gefäße sind Ausstülpungen der Kloake und somit abgewandeltes Gewebe des Verdauungstraktes (Abb. 7/8; Storch und Welsch, 2014). Weitere Exkretionsorgan sind im Prosoma angelegt. Die sogenannten Coxadrüsen befinden sich an den Basen der Extremitäten und sind umgewandelte Metanephridien (Storch und Welsch, 2014).

2.5 Exo- vs. Endoskelett

Das Exoskelett ist die äußere feste Körperhülle der Araneae und bei allen Arthropoden ist sie aus mehreren Cuticula-Schichten aufgebaut.

Cuticula besteht zu einem Großteil aus dem Kohlenhydrat Chitin. Chitinfasern sind dabei in eine Grundmasse aus Protein eingebaut und bilden dadurch eine feste und belastbare Substanz. Diese Cuticulaschicht hat nicht nur den Vorteil eines mechanischen Schutzes und einer skelettartigen Stütze, sondern bietet auch Schutz vor Austrocknung (Foelix, 2015).

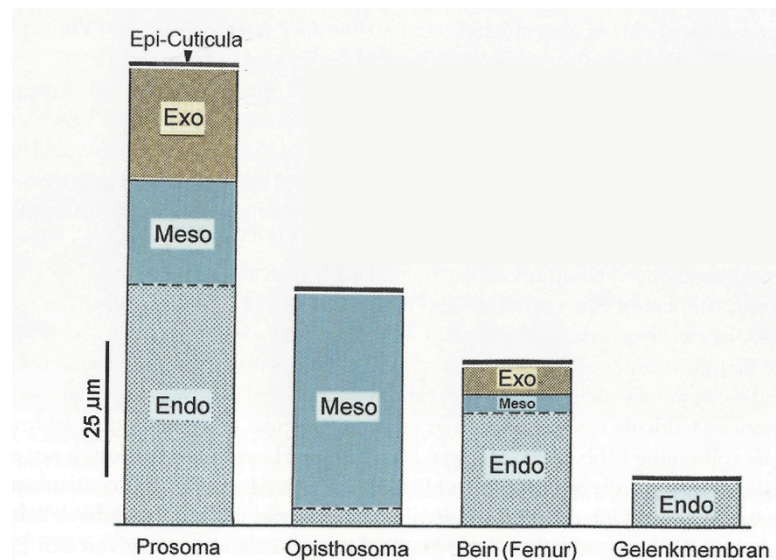


Abbildung 13, Schichtbau der Cuticula ans verschiedenen Körperstellen von *C. salei*. Die Cuticula besteht aus Epi-, Exo-, Meso- und Endocuticula, die an unterschiedlichen Stellen unterschiedlich stark ausgeprägt sind (aus Foelix, 2015; nach Barth 1973a).

Die Cuticula ist aus insgesamt vier Schichten aufgebaut, die unterschiedliche Eigenschaften haben und je nach Körperstelle unterschiedlich stark ausgeprägt sein können (Abb. 13).

Die äußerste Schicht bildet immer die Epicuticula, die an jeglichen Körperstellen vorhanden ist (Abb. 13). Die Epicuticula ist eine sehr dünne Schicht, aber aufgrund ihrer Lage maßgeblich entscheidend für die Permeabilitätseigenschaft der gesamten Cuticula (Foelix, 2015). Das bedeutet auch, dass die Epicuticula eine robuste Schicht der Cuticula sein muss, um die inneren Organe vor mechanischen Schäden und vor Austrocknung zu schützen. In die Epicuticula münden Porenkanäle, die durch die gesamte Cuticula verlaufen und an dessen Basis neue Cuticulazellen produziert werden, die abgenützte Epicuticula ersetzen können (Foelix, 2015).

Unter der Epicuticula liegt die Exocuticula, die vor allem am Prosoma und an den Laufbeinen stark ausgeprägt ist (Abb. 13). Die Exocuticula ist die härteste Schicht der gesamten Cuticula und ist somit für die wichtigste Eigenschaft der Cuticula verantwortlich: Mechanischer Schutz und Stabilität. Am weichen Opisthosoma und an Gelenkmembranen wurde bei Untersuchungen an *C. salei* keine Exocuticula gefunden (Abb. 13; Barth, 1973a). Die Exocuticula ist auch der Hauptbestandteil von Haarsensillen, die im Leben einer Spinne

überlebensnotwendig sind. Häutet sich eine Spinne im Laufe des juvenilen Stadiums, so besteht die abgestreifte Haut (Exuvie) ebenfalls zum größten Teil aus Exocuticula (Foelix, 2015).

Meso- und Endocuticula bilden die beiden innersten Lagen der gesamten Cuticula und in diesen Schichten sind wie bei der Exocuticula parallele Lamellen zu erkennen. Durch diese parallelen Lamellen, die von Schicht zu Schicht in verschiedene Richtungen angeordnet sind, ergibt sich bei einer Anfärbetechnik der Cuticula unterschiedliche Farbtintensitäten, die den einzigen Unterschied zwischen Meso- und Endocuticula liefert (Foelix, 2015). Auch sie können unterschiedlich stark ausgeprägt sein oder auch sogar fehlen. Besonders die weichen Gelenksmembranen bestehen zum größten Teil nur aus Endocuticula (Abb. 13; Foelix, 2015, Barth 1973a).

Unter der Endocuticula liegt eine Epithelzellschicht, die für die Produktion von neuer Cuticula verantwortlich ist und diese durch Porenkanäle durch die verschiedenen Schichten transportiert. In dieser Epithelschicht sind Pigmente eingelagert, die den Tieren ihre Färbung verleihen. Die Färbung eines Tieres ist aber nicht nur durch Pigmenteinlagerungen, sondern auch durch Lichtbrechungseffekte möglich (Foelix, 2015).

Spinnen besitzen keine inneren Strukturen, die der Körperform und Beweglichkeit dienen. Diese Funktion übernimmt, wie bereits besprochen, das Exoskelett. Wenige innere feste Strukturen sind jedoch trotzdem notwendig, um Ansatzflächen für Muskeln zu bieten.

Das Endoskelett besteht aus verschiedenen Komponenten mit unterschiedlicher Herkunft. Kielartigen Einstülpungen der Cuticula ins Körperinnere bilden das ektodermale Innenskelett und werden Apodeme oder Entapophysen genannt. Sie dienen als Ansatzstellen für Muskeln (Foelix, 2015). Entosterna bilden die mesodermalen Skelettelemente des Endoskeletts und ähneln im Aufbau den Knorpeln von Wirbeltieren. Das größte und bekanntesten Element der Entosterna ist der Endosternit. Diese knorpelige Platte liegt mitten im Prosoma und dient als Ansatzstelle für Muskeln des Saugmagens und der Extremitäten (Foelix, 2015).

2.6 Spezielle Sinnesorgane

Spinnen besitzen eine Vielzahl an Sinnen. Der wohl am besten entwickelte Sinn ist der mechanische Sinn, der Informationen aus der Umwelt über Vibrationen, Luftströme und Dehnungszustände der Cuticula und somit Informationen über die Körperstellung aufnimmt und ans zentrale Nervensystem zur Verarbeitung weitersendet.

Zur Wahrnehmung der verschiedenen Reizqualitäten wurden verschiedene Sinnesorgane entdeckt, die teilweise einzigartig in der Familie der Spinnentiere sind. Wie bereits in 2.3.1 erwähnt, sind besonders die Laufbeine mit einer immensen Zahl an Sinnesorganen bedeckt. Diese sind meist als Sinneshaare oder als Spaltsinnesorgane ausgebildet.

2.6.1 Tasthaare und Trichobothrien

Über den gesamten Körper sind Sinneshaare verteilt, die meist dem Tasten dienen. Jedoch sind nicht alle Haare auf einem Spinnenkörper Sinnesorgane. Man kann zwischen einfachen Haaren und Haarsensillen unterscheiden, indem darauf geachtet wird, ob der Haarschaft in die Cuticula innerviert oder ob das Haar auf der Cuticula aufsitzt. Sinneshaare kennzeichnen sich durch einen langen exocuticulären Haarschaft, der in einem Haarsockel sitzt (Foelix, 2015). Mit dem Sockel und dem Haarschaft sind Dendriten einer Nervenzelle verbunden. Wird das Sinneshaar verbogen, so registriert der Dendrit diesen mechanischen Reiz.

Spezielle Sinneshaare bilden die Trichobothrien, oder auch Becherhaare genannt. Bei Trichobothrien handelt es sich um sehr lange (100µm-1400µm), fadenförmige Sinneshaare, die der Wahrnehmung von Luftbewegungen dienen (Abb. 14; Barth, 2001).

Die Trichobothrien sind auf der dorsalen Oberfläche des Tarsus, des Metatarsus und der Tibia der Laufbeine und der Pedipalpen zu finden. Auf der ventralen Seite befinden sich keine Trichobothrien, da diese dem Luftstrom nicht so stark ausgesetzt ist wie die dorsale Körperoberfläche (Barth, 2001).

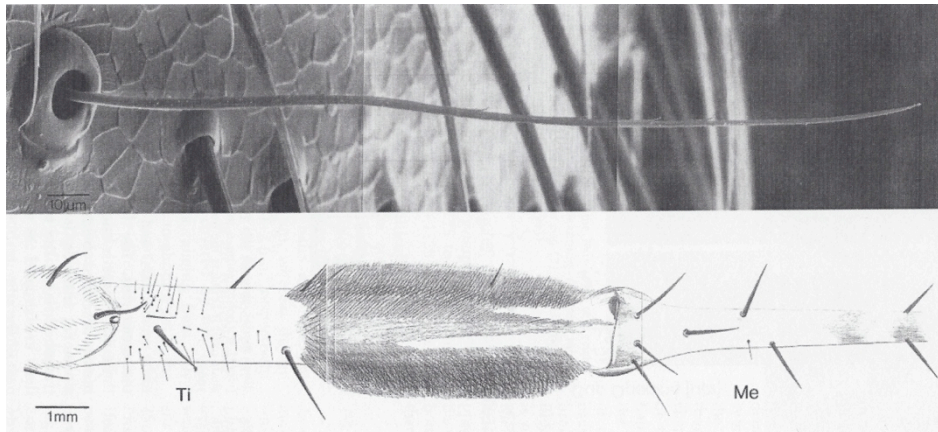


Abbildung 14, Trichobothrium (oben) und Anordnung der Trichobothrien auf einem Laufbein (unten; Ti... Tibia, Me... Metatarsus). Die Trichobothrien sind artspezifisch angeordnet und dienen der Wahrnehmung von Luftströmung (aus Barth, 2001).

Diese Sinneshaare sind besonders auffällig, da sie einzeln und nicht in Gruppen angeordnet sind. Oft können sie aufgrund ihrer Länge sogar ohne Mikroskop erkannt werden. Trichobothrien sind sehr leicht beweglich. Schon ein geringer Luftzug verbiegt das Trichobothrium und versetzt den Schaft in Schwingungen. Den Haarschaft innervieren vier Dendriten, die auf die Auslenkung des Becherhaares reagieren (Barth, 2001).

Bemerkenswert ist weiters, dass die Sinneszellen der Trichobothrien abhängig von der Trichobothrienlänge auf unterschiedliche Frequenzen reagieren. Prinzipiell reagieren die Sinneszellen der Trichobothrien auf eine Frequenzspannweite von 40 bis 600 Hz (Foelix, 2015). Kurze Trichobothrien sind auf die Wahrnehmung von Frequenzen zwischen 50 und 120 Hz spezialisiert. Diese Frequenz entspricht der Flügelschlagfrequenz vieler Insekten, die Spinnen als Beute jagen (Foelix, 2015).

2.6.2 Spaltsinnesorgane

Neben den Sinneshaaren findet man auch Spaltsinnesorgane besonders auf den Beinen von Spinnen. Mehr als 80% der gezählten Spaltsinnesorgane einer *C. salei* befinden sich auf den Laufbeinen und den Pedipalpen (Barth, 2001). Sporadisch findet man Spaltsinnesorgane aber auch am gesamten restlichen

Körper verteilt. Diese Sinnesorgane sind auf die Klasse der *Arachnida* beschränkt und am besten in dieser Klasse untersucht (Barth, 2001).

Die Spaltsinnesorgane sind wie der Name vermuten lässt, feine Spalten in der Cuticula. Sie dienen der Wahrnehmung von mechanischen Stressoren, die auf die Cuticula wirken. Unter mechanischen Stressoren versteht man etwa Muskelaktivität, Druck der Haemolymphe, Gravitation und vor Allem Substratvibrationen (Barth, 2001). Durch diese Zustandsänderungen in der Cuticula können Informationen über die Lage des gesamten Körpers und einzelner Körperteile, als auch über die Position von Beute, Feinden oder Sexualpartner in der Umgebung aufgenommen werden (Foelix, 2015).

Diese Spalten in der Exocuticula sind zwischen 8 und 200µm lang und zwischen einem und zwei Mikrometer breit. In den Spalt ragt der Dendrit einer sensorischen Sinneszelle, der auf die mechanische Deformation des Spaltes reagiert (Barth, 2001). Verengt sich etwa der Spalt, so wird auch die Dendritenspitze verformt und ein Aktionspotential wird generiert.

Aufgrund ihrer Gruppierung unterscheidet man drei Typen an Spaltsensillen (Barth, 2001):

- isolierte, einzelne Spalten (Abb. 15a)
- lose Gruppen an Spalten und
- lyraförmige Organe (Abb. 15b)

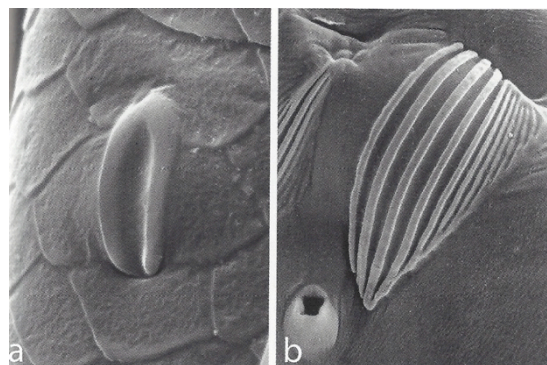


Abbildung 15, Einzelnes Spaltsinnesorgan (a) und lyraformes Organ (b). Beim Lyraformen Organ liegen die Spalten dicht und parallel aneinander (aus Foelix, 2015).

Besonders interessant sind jene Spalten, die gemeinsam zu einem lyraförmigen Organ zusammengefasst werden. Diese Sinnesorgane befinden sich nur auf den Beinen. Die Spalten liegen dabei sehr eng parallel aneinander und

verlaufen meist parallel zur Beinachse (Barth, 2001). Die verschiedenen Spalten der lyraformen Organe weisen eine unterschiedliche Sensitivität auf. Ebenso sind unterschiedliche lyraforme Organe für unterschiedliche Informationsaufnahmen verantwortlich (Barth, 2001).

Eine wichtige Aufgabe ist die Wahrnehmung von körpereigenen Reizen, wie die Gelenkbewegungen beim Laufen. Die meisten lyraformen Organe sitzen dazu nahe den Gelenken, wo bei einer Bewegung Kräfte von einem Beinglied auf das andere übertragen werden (Barth, 2001).

2.6.3 Das metatarsale Vibrationsorgan

Das metatarsale Organ sitzt bei Spinnen stets hinter einer Furche aus Cuticula am distalen Ende des Metatarsus (Barth, 2001). Es ist vom Aufbau ähnlich den einzelnen Spaltsinnesorganen und den lyraformen Organen. Es unterscheidet sich aber in zwei Punkten wesentlich von ihnen, wodurch es als eigenes Sinnesorgan und nicht als lyraformes Organ angesehen wird (Barth, 2001). Erstens sind die metatarsalen Vibrationsorgane nicht über das ganze Bein verteilt sondern sitzen stets nur auf der dorsalen Oberfläche des Metatarsus. Zweitens liegen die Spalten immer im rechten Winkel zur Beinachse, und nicht wie beim lyraformen Organ parallel zur Beinachse (Barth, 2001).

Bei einer Vibration des Substrats, bewegen sich die Beinglieder passiv gegeneinander. Durch Aufwärts- und Seitwärtsbewegungen des Tarsus übt das distale Ende des Tarsus Druck auf das proximale Ende des Metatarsus aus. Dieser Druck wird durch das metatarsale Vibrationsorgan registriert (Barth, 2001).

Dem nicht genug, besitzt die Spinne noch spezielle einzelne Sinneshaare, die auf Vibration reagieren. Sie befinden sich auf dem vorderen Ende des Metatarsus hinter der Endklaue des Beines (Barth, 2001).

2.6.4 Propriozeptoren

Propriozeptoren dienen neben dem lyraformen Organ der Wahrnehmung von Reizen, die aktiv von der Spinne selbst ausgehen. Eine wichtige Gruppe dabei sind jene Rezeptoren, die im Körperinneren der Spinne die Stellung der Gelenke registrieren (Foelix, 2015). Diese inneren Gelenksrezeptoren befinden sich in jedem Gelenk der Laufbeine und der Pedipalpen (Foelix, 2015).

2.6.5 Chemische Sinne

Spinnen verfügen über einen Geruchs- und Geschmackssinn. Gasförmige Stoffe können über größere Entfernungen wahrscheinlich über das Tarsalorgan wahrgenommen werden. Sicher ist man sich jedoch nicht, ob dort wirklich die Geruchsrezeptoren sitzen (Foelix 2015).

Für die Wahrnehmung von gelösten chemischen Stoffen sind die Geschmackshaare, oder auch Kontaktchemorezeptoren genannt, zuständig. Diese, den normalen Tasthaaren ähnlichen Strukturen, unterscheiden sich durch eine offene Haarspitze durch die gelöste Stoffe zu den Sinneszellen dringen können. Die Kontaktchemorezeptoren sitzen besonders auf den Pedipalpen und an den Tarsen der Laufbeine (Foelix, 2015).

Die Geschmackshaare haben eine wichtige Funktion für die Prüfung von Nahrung auf Fressbarkeit und für das Auffinden von Geschlechtspartnern (Foelix, 2015).

2.7 Lebensweisen und Verhalten

Prinzipiell kann man Spinnen bezüglich ihres Beutefangverhaltens in zwei Gruppen teilen. Die einen sind sesshaft und bauen Netze, in denen sich die Beute verhängt, die anderen sind herumwandernde Jagdspinnen, die aktiv auf Beutejagd gehen und keine Spinnennetze bauen (Foelix, 2015).

2.7.1 Netzbau

Prinzipiell besitzen alle Spinnen Spinndrüsen und sind damit ab der juvenilen Phase ihres Lebens zur Seidenproduktion befähigt. Einzigartig im Unterschied zu Seide produzierende Insekten ist die Tatsache, dass Spinnen Spinnseide ständig produzieren und sie für Beutefang oder andere lebensnotwendige Prozesse benutzen. Bei Insekten ist die Seidenproduktion hingegen auf einzelne bestimmte Phasen beschränkt, wie etwa der Kokonbau bei Schmetterlingen (Foelix, 2015).

2.7.1.1 Spinnseide

Unterschiedliche Spinnseiden werden in unterschiedlichen Spinndrüsen hergestellt (vgl. 2.4.4). Spinnseide kann als lange Kette von Proteinen, sogenannte Fibroine, angesehen werden. Man kann dabei zwei unterschiedliche Strukturen unterscheiden, und zwar die lösliche α -Form und die unlösliche β -Faltblattstruktur. Durch Zugspannung auf das lösliche α -Fibroin kommt es zur Abspaltung von Wasserstoffbrücken und zur Umlagerung der Atome im Molekül, wodurch das unlösliche β -Fibroin entsteht (Foelix, 2015).

Zwischen den Fibroin-Molekül sind noch weitere Proteine in Form von Kristallen eingelagert, die der Seide ihre Festigkeit verleihen. Nasse Spinnfäden, die viele α -Ketten beinhalten, sind weich und elastisch und können mehr als 300% gedehnt werden. Trockene Fäden hingegen reißen nach einer Streckung von etwa 30% (Foelix, 2015).

2.7.1.2 Anatomie und Bau eines Radnetzes

Je nach Spinnenfamilie unterscheiden sich die Form und Bauart der Gespinste. Etwa bauen Baldachinspinnen Deckennetze, Röhrenspinnen Röhrennetze aber auch Fangschläuche von Tapezierspinnen sind bekannt. Der wohl gängigste und bekannteste Netztyp ist das Radnetz der Radnetzspinnen (*Araneidae*).

Radnetze verschiedener *Araneidae* zeigen einen ähnlichen Grundaufbau mit Elementen, die sich in abgewandelten Formen in den verschiedenen Radnetzen wiederfinden lassen. Diese Elemente sind – erstens - die von innen nach aussen verlaufenden Speichen, die in der Mitte zur sogenannten Nabe,

dem Zentrum des Netzes, zusammenlaufen. Zweitens sind die Rahmenfäden zu nennen, die das Netz nach außen begrenzen und Ansatzstellen für die Speichen bilden. Das dritte Grundelement ist die Fangspirale (Abb. 16; Wiehle, 1929). Dabei bilden die Rahmen- und Speicherfäden das Grundgerüst des Netzes, die im Gegensatz zur Fangspirale nicht klebrig ist (Foelix, 2015). Die Fangspirale wird aus einem Klebfaden hergestellt. Dabei wird in kurzen, gleichmäßigen Abständen leimähnliche Seide auf den Faden aufgebracht (Foelix, 2015).

Die Fangspirale und das Grundgerüst unterscheiden sich aufgrund der unterschiedlichen Seide auch in ihrer Elastizität, was Rückschlüsse auf die Funktion der Fäden schließen lässt. Die Fangfäden können um mehrere 100% gedehnt werden bevor sie reißen (Foelix, 2015). Dies ist von Vorteil, wenn sich Beute in der Fangspirale befindet und sich stark bewegt, da somit ein Reißen des Netzes verhindert wird. Die Rahmen- und Speichenfäden zeigen im Unterschied eine Elastizität von nur 30-40% (Foelix, 2015). Somit sind diese stabiler und haben eine Gerüstfunktion. Außerdem sind diese starrer Fäden für die Übertragung von vibratorischen Reizen zuständig, die von Beute oder Sexualpartnern ausgesendet werden.

Von innen nach außen können unterschiedliche Zonen des Radnetzes unterschieden werden. Das Zentrum bildet die Nabe. Ihr Aufbau ist unregelmäßig und sie kann oft nach der Fertigstellung des Netzes zerstört werden, sodass eine offene Nabe entsteht (Abb. 16; Foelix, 2015). Auf die Nabe folgt die verhältnismäßig kleine Befestigungszone, die durch eine enge, gleichmäßige Spirale erkennbar ist. Diese dient der Stabilität der Nabe. Die folgende freie Zone besteht nur aus Speichenfäden, wodurch das Netz sehr weitmaschig ist. Die Fangzone nimmt den Großteil der Fläche des Radnetzes ein. Die Fangzone entsteht, indem die Fangspirale mit den Speichen an den Kreuzungspunkten verbunden wird (Foelix, 2015). Wie viele Speichen und Verbindungsstellen ein Radnetz aufweist, hängt von der Art der Spinne ab. Auch der Winkel zwischen den Speichen ist somit artspezifisch. Die Kreuzspinne *Araneus diadematus* baut 25-30 Speichen und 1000-1500 Verbindungsstellen (Foelix, 2015).

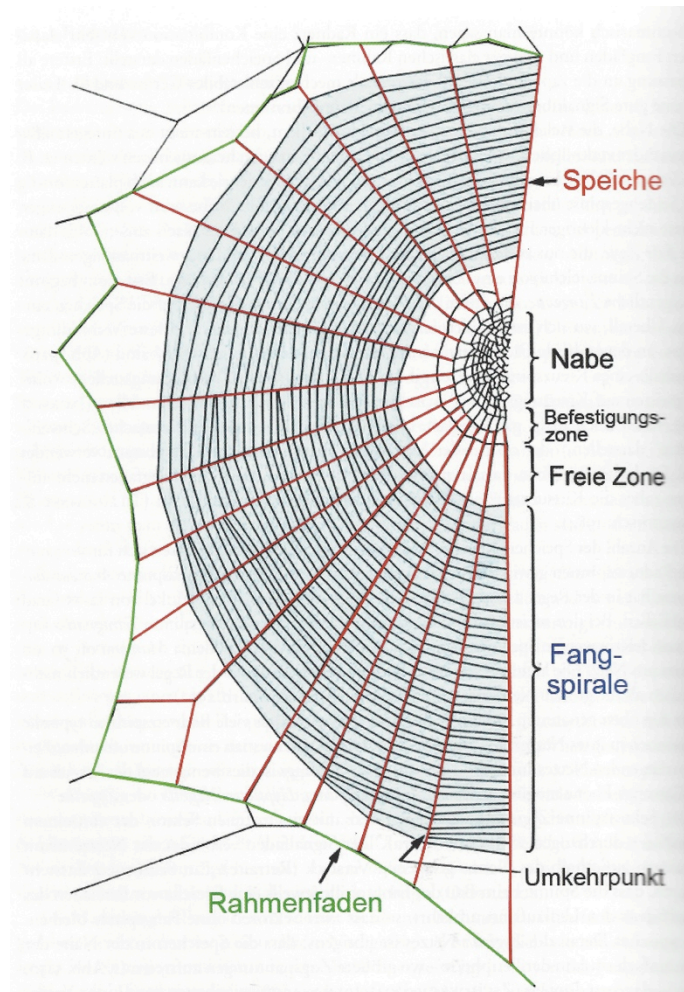


Abbildung 16, Aufbau eines Radnetzes der Kreuzspinne *Araneus diadematus*. Die Elemente des Netzes bestehen aus unterschiedlichen Fäden und dienen verschiedenen Funktionen (aus Foelix, 2015).

Weiters ist noch der Signalfaden wichtig zu erwähnen. Mit diesem Faden wird ständig Kontakt zur Nabe gehalten. Eine Spinne, die in einem Versteck sitzt und somit nicht frei am Netz für Beute wahrnehmbar ist, registriert Bewegungen des Netzes trotzdem (Foelix, 2015).

2.7.2 Beutefang und Giftigkeit

Prinzipiell leben alle Spinnen als Jäger und haben dazu eine giftproduzierende Drüse und eine entsprechende Giftklaue ausgebildet. Das Gift dient dabei zur Immobilisierung der Beute. Von mehr als 45.000 Arten weltweit sind für den Mensch nur etwa 0,2% gefährlich (Foelix, 2015).

Die chemische Zusammensetzung des Spinnengiftes ist je nach Art sehr variabel. Am häufigsten handelt es sich um Polypeptide, die neurotoxisch auf den Organismus wirken (Foelix, 2015). Als Maßzahl der Giftigkeit wird der LD₅₀-Wert herangezogen. Diese Zahl beschreibt jene Dosis an Gift, wobei 50% einer infizierten Versuchspopulation sterben. Dabei muss stets die Dosis in Relation zum Körpergewicht gesetzt werden.

Die Gattung *Latrodectus* (Echten Witwen) vereinigt viele giftige Arten, zu denen auch die „Schwarze Witwe“ *L. tredecimguttatus* gehört, die im Mittelmeerraum vorkommt.

Die Letaldosen unterscheiden sich von Tier zu Tier sehr stark. So beträgt der LD₅₀-Wert für Frösche 0,145mg/g Körpergewicht, für Hühner 0,002mg/g und für Mäuse sogar nur 0,0009mg/g (Foelix, 2015). Ihr Biss ist beim Menschen nur in sehr seltenen Fällen tödlich, trotzdem treten schmerzhaftes Symptome auf und die Genesung dauert einige Wochen. Der Biss wird oft gar nicht bemerkt, erst einige Minuten später kommt es zu Schmerzen in den Lymphknoten die sich auf die gesamte Körpermuskulatur ausbreiten. Es kommt zu Krämpfen in allen Körperregionen und oft zeigen Patienten einen typischen verkrampften Gesichtsausdruck, der mit dem Begriff *Facies latrodectismi* beschrieben wird (Foelix, 2015). Weiters kann es zu psychischen Symptomen kommen, die von Angstzuständen bis Todesfurcht reichen. Wird ein Patient nicht mit einem Antiserum behandelt, so bleiben die Symptome für etwa 5 Tage aufrecht (Foelix, 2015).

In Österreich werden Wasserspinne (*Argyroneta aquatica*) und Kreuzspinne (*Araneus diadematus*) zu den leicht gefährlichen Arten gezählt. Die Bisse sind schmerzhaft und mit dem Stich einer Biene vergleichbar. In den meisten Fällen kommt es zu einer Schwellung der Bissstelle und einer Reizung der Haut. Weitaus schmerzhafter ist der Biss des Dornfingers (*Cheiracanthium puncturium*). Sie wird als giftigste Spinne der heimischen Fauna beschrieben (Bellmann, 2010). Dabei kommt es zu brennenden und stechenden Schmerzen an der Bissstelle. Weiters können Fieber, Übelkeit und sogar Lähmungserscheinungen folgen. Unbehandelte Symptome können einige Tage anhalten (Bellmann, 2010).

Zu den giftigsten Spinnen weltweit zählen die Gattungen *Atrax* und *Hadronyche* der Trichternetzspinnen in Australien und die Gattungen *Phoneutria*

(Kammspinnen) in Südamerika. Im Gegensatz dazu sind Vogelspinnen viel weniger gefährlich als stets postuliert. Ihr Biss ist für Mäuse und Insekten letal, für Menschen aber harmlos. Wie bei einem Wespenstich kann es zu Rötungen und Schwellungen kommen. Weitaus schmerzhafter ist der Biss selbst aufgrund der starken Chelicerenklauen (Foelix, 2015).

2.7.3 Balz- und Brutpflegeverhalten

Die männlichen und weiblichen, inneren und äußeren Geschlechtsorgane, sowie der Vorgang der Palpenfüllung mit Sperma wurden im Kapitel 2.4.5.1 bereits thematisiert. Das Werbeverhalten, das einer jeden Kopulation vorausgeht, soll jetzt behandelt werden.

Für das Balzverhalten von Spinnen können keine allgemein gültigen Aussagen getroffen werden, da dieses immer artspezifisch ist und somit auch als Isolationsmechanismus wirkt. Durch die Unattraktivität artfremder Kopulationspartner und Weibchen, die nicht auf artfremde Balz reagieren, kann es zu keiner genetischen Vermischung kommen. Für die kopulationsbereiten Männchen besteht die erste Hürde darin, als Kopulationspartner und nicht als Beutetier vom Weibchen wahrgenommen zu werden. Es muss das eher passiv wirkende Weibchen, das durch Pheromone des Männchens anlockt und ihre Kopulationsbereitschaft signalisiert, für die Kopulation stimulieren (Foelix, 2015).

Sehr vereinfacht kann das Balzverhalten in drei Kategorien geteilt werden, je nachdem wie das Balzverhalten der Männchen ausgelöst wird (Foelix, 2015).

Die erste Klasse ist Balzverhalten, das durch direkten Kontakt zwischen Männchen und Weibchen ausgelöst wird. Das ist die einfachste Art der Balzverhalten. Das männliche Tier klettert dabei einfach über oder auf das Weibchen und führt den mit Sperma gefüllten Palpenbulbus in die weibliche Geschlechtsöffnung (Foelix, 2015). Diese Art der Kopulation kommt vor Allem bei Sackspinnen (*Clubionidae*) und Krabbenspinnen (*Thomisidae*) vor. Es kann auch sein, dass vor der Kopulation das gesamte Weibchen oder nur die Extremitäten durch ein Netz fixiert werden (Foelix, 2015).

Die zweite Kategorie wird durch den Einsatz von weiblichen Pheromonen zur Auslösung von männlichen Balzverhalten bestimmt. Männchen erkennen Spinnnetze oder auch die Lauffäden weiblicher Kopulationspartner durch ihre Geschmackshaare an den Extremitäten (Foelix, 2015). Die Männchen bewegen das Spinnennetz der Weibchen und senden dadurch spezifische Vibrationssignale an das Weibchen. Durch einen Balzfaden des Männchens kommt es zur wechselseitigen Aussendung von Vibrationssignalen, die sich klar von Vibrationen, die ein Beutetier auslöst, abheben. Diese Balzsignale zwischen Männchen und Weibchen können in Silben und Pausen strukturiert sein und einem artspezifischen Muster folgen (Foelix, 2015). Ist das Weibchen kopulationswillig, so nimmt es anschließend eine passive Position ein, sodass das Männchen auf das Weibchen klettern und es begatten kann (Foelix, 2015). Die dritte Stufe der Balz wird durch visuelle Signale ausgelöst und formt dadurch die komplexeste Stufe des Balzverhaltens. Diese visuellen Signale kommen vor Allem bei Springspinnen (*Salticidae*) und Wolfsspinnen (*Lycosidae*) vor. Nach dem Auffinden des Kopulationspartners durch spezielle Körperfärbungen, Bewegungen oder die richtige Körpergröße kommt es meist zu wechselseitigen Vibrationssignalen, die die Kopulation einleiten.

Einige Wochen nach der Kopulation kommt es zur Eiablage. Die Eier werden erst kurz bevor sie aus dem Uterus extenus transportiert werden durch gespeicherte Samenzellen aus den Receptacula seminis befruchtet (Foelix, 2015). Da die Befruchtung der Eier nicht sofort nach der Kopulation erfolgt, können die Nachkommen von mehreren Männchen stammen. Es ist noch eine Frage der Forschung, ob ein Weibchen aktiv auf die Wahl der gespeicherten Samen Einfluss nimmt (Foelix, 2015). Die Eiablage dauert nur wenige Minuten, wobei oft mehrere tausend Eier gelegt werden. Die Eier werden von einer schützenden Seidenhülle, dem Kokon, umgeben. Die Form des Kokons ist von Art zu Art unterschiedlich (Foelix, 2015).

Brutpflege wird meist nur von Weibchen betrieben, indem der Kokon geschützt oder auch zwischen den Cheliceren getragen wird. Oft werden Jungtiere mit Nahrung versorgt. Bei manchen Familien ist es sogar nötig, dass das Muttertier den Kokon öffnet. Oft werden auch mehrere Wochen die Jungtiere nach dem Schlüpfen auf dem Opisthosoma getragen (Foelix, 2015).

Das Balz-, Kopulations- und Brutpflegeverhalten ist so weitläufig und vielfältig, dass es den interessierten Lesern und Leserinnen selbst überlassen bleibt, sich über Fachliteratur zu informieren.

2.8 Entwicklung

Die Ontogenie von Spinnen lässt sich in mehrere verschiedene Phasen einteilen. Prinzipiell unterscheidet man zwischen Embryonalphase, Larvalphase und Nympho-Imaginalphase bis das adulte Alter erreicht ist (Vachon, 1957).

In der Embryonalperiode entwickelt sich das befruchtete Ei und die typische Spinnenform des Embryos entsteht. Die Larvalphase, die mit dem Schlüpfen der Jungtiere aus den Eiern startet, lässt sich nochmals in zwei verschiedene Stadien, die Prälarve und Larve, teilen. Man spricht dann auch von der

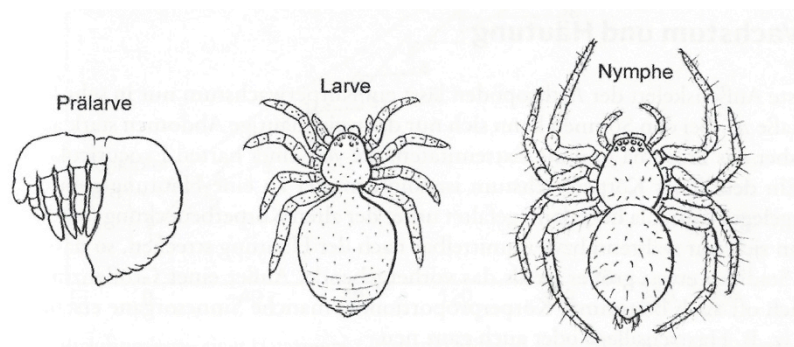


Abbildung 17, Entwicklungsstadien einer Spinne. Aus dem befruchteten Ei schlüpft eine Prälarve oder Larve. Nach mehreren Häutungen ist eine Nymphe vorhanden. Bei einer Nymphe sind alle Körperanhänge ausdifferenziert. Sie unterscheidet sich vom adulten Tier nur durch das Fehlen des funktionsfähigen Geschlechtsapparates (aus Foelix, 2015, nach Vachon, 1957).

postembryonalen Phase. Bei den meisten Spinnen verlässt die Prälarve das Ei, bei anderen Spinnen ist es jedoch erst die Larve (Foelix, 2015). Prinzipiell beinhaltet jedes Entwicklungsstadium mehrere Häutungen. Die Prälarve häutet sich entweder zur Larve, oder es kommt noch zu einem weiteren Prälarvalstadium (Foelix, 2015). Die beiden Stadien unterscheiden sich vor Allem in ihrer Beweglichkeit und der Differenzierung der Körperanhänge. Die Tiere ernähren sich in diesen Stadien ausschließlich von den Dottervorräten der Ocelle (Abb. 17, Tab. 1; Vachon, 1957).

Das anschließende Nymph-Imaginal-Stadium kennzeichnet sich durch die selbstständige Ernährung der Jungtiere und die vollständige Ausbildung der Körperglieder (Vachon, 2015). In diesem Stadium besitzen die Jungtiere ihre

komplette Beweglichkeit und nehmen mit jeder Häutung stark an Körpergewicht und Körpergröße zu. Es kommt insgesamt zu fünf bis zehn Nymphen- bzw. Juvenilstadien (Foelix, 2015). Der einzige Unterschied zwischen Nymphe und dem adulten Tier ist die Ausbildung der funktionsfähigen Kopulationsorgane (Tab. 1). Die Kopulationsorgane treten erst nach der letzten Häutung, der Reifehäutung auf (Vachon, 1957). Erst dann sind die Tiere geschlechtsreif und haben das adulte Stadium erreicht.

Tabelle 1, Merkmalsübersicht über die verschiedenen Entwicklungsstadien einer Spinne (nach Vachon 1957, Foelix 2015).

	Larval unselbständige Ernährung		Nympho-Imaginal selbstständige Ernährung	
	Prälarve	Larve	Nymphe	Adult
Beweglichkeit	unbeweglich	wenig beweglich	komplett beweglich	komplett beweglich
Beingliederung	unvollständig	vollständig	vollständig	vollständig
Behaarung	keine	wenige differenzierte Haare und Stacheln	vielfältig, differenzierte Sinneshaare	vielfältig, differenzierte Sinneshaare
Tarsalklauen	keine	einfache Klauen	vollständig ausdifferenziert	vollständig ausdifferenziert
Chelicerenklauen	undifferenziert	Klaue differenziert, aber ohne Giftkanal	Klaue mit Giftkanal	Klaue mit Giftkanal
Spinnwarzen	kaum differenziert	Spinnwarzen differenziert, aber ohne Spinnspulen	differenzierte und funktionsfähige Spinnwarzen	differenzierte und funktionsfähige Spinnwarzen
Geschlechtsorgane	nicht vorhanden	nicht vorhanden	nicht vorhanden	vorhanden

Der Übertritt von einer Phase in die nächste ist immer durch eine Häutung gekennzeichnet. Die Länge der einzelnen Stadien ist von der Verfügbarkeit von Nahrung stark abhängig, da mit den Entwicklungsprozessen ein hoher Energiebedarf einhergeht (Foelix, 2015). Wichtig ist auch, die Begriffe Larve und Nymphe nicht mit den Begriffen aus der Insektenentwicklung gleichzusetzen. Die Begriffe Nymphe und Larve können bei der

Insektenentwicklung viel genauer und enger definiert werden und fassen andere Entwicklungsmerkmale zusammen (Foelix, 2015).

Bei Arthropoden verläuft Körperwachstum immer über Häutungen, da das feste Exoskelett in seiner Dehnbarkeit beschränkt ist. Das Opisthosoma ist nicht von festem Exoskelett umgeben, wodurch sich dieser Bereich bei Nahrungsaufnahme bzw. bei Produktion von Geschlechtszellen, erweitern kann. Die Anzahl der Häutungen hängt stark von der Verfügbarkeit von Nahrung und von der Körpergröße der Art ab. Prinzipiell kann auch ein Unterschied in den Häutungszahlen zwischen den Männchen und Weibchen einer Art festgestellt werden. Die großen Weibchen häuten sich öfters als die Männchen bis sie das geschlechtsreife Adultstadium erreichen (Foelix, 2015).

Eine Häutung besteht generell aus zwei verschiedenen Vorgängen. Die Apolyse beschreibt den Vorgang, dass sich die alte Cuticula von den Epidermiszellen löst. Dies startet bereits einige Wochen vor der eigentlichen Häutung, der Ecdysis. Unter Ecdysis versteht man das Abstreifen der Exuvie, das gesamten alten Außenskelett (Foelix, 2015).

Die Ecdysis verläuft immer nach dem gleichen Schema und kann demnach in verschiedene Phasen geteilt werden. Da der Häutungsvorgang energetisch intensiv ist, ist die Spinne Tage vor der Häutung inaktiver. Sie zieht sich in ein Versteck zurück und nimmt auch während dieser Zeit keine Nahrung auf. Netzspinnen produzieren einen Häutungsfaden, an dem sie kopfüber hängen. Diese Stellung der Spinne ist ein fast sicheres Indiz für das Einsetzen einer Häutung (Foelix, 2015). Einen Beginn der Häutung kann man weiters erkennen, wenn das Abdomen nach hinten geschoben wurde, sodass der Petiolus zwischen Opisthosoma und Prosoma sichtbar wird (Foelix, 2015).

In der ersten Phase der Häutung wird der Carapax aufgeklappt. Dieses beidseitige Aufplatzen der Bauchplatte kommt zustande, da die Festigkeit der Cuticula vor einer Häutung abnimmt und durch einen erhöhten Herzschlag der Haemolymphdruck im Prosoma zunimmt (Foelix, 2015).

In der zweiten Phase wird der Hinterleib aus der Exuvie gezogen. Gleichzeitig werden auch die Extremitäten aus der alten Körperhülle bewegt, wobei dieser Vorgang oft mit Komplikationen verbunden sein kann. Kann eine Spinne die

Extremitäten nicht aus der Exuvie lösen, so kann das den Tod für das Tier bedeuten (Foelix, 2015).

Eine Häutung dauert von einigen Minuten bis zu mehreren Stunden. Die Dauer ist von der Körpergröße des Tieres abhängig. Nach dem Abstreifen der alten Körperhülle, muss sich die neue Cuticula ausfalten und verhärten. Bis diese Sklerotisierung abgeschlossen ist bleiben die Tiere in ihrem Versteck bzw. am Faden relativ inaktiv, da die weichen Beine den Körper noch nicht tragen können (Foelix, 2015).

3 Die Spinne in der Neurobiologie

An Departement für Neurobiologie an der Universität Wien wird seit vielen Jahren an der Spinne *Cupiennius salei* geforscht, wobei ihr visuelles System einen zentralen Punkt in vielen Forschungsarbeiten einnimmt. Neben Wien wird auch in München, Frankfurt am Main, Jena, Bern, Köln aber auch in Edmonton und Halifax in Kanada dieses Tier erforscht (Barth, 2001).

Die WissenschaftlerInnen an der Universität Wien beschäftigen sich vor allem mit der Sinnesphysiologie und dem Verhalten des Tieres. Einen zentralen Punkt bildet dabei der visuelle Sinn des Tieres, da dieser bei *C. salei* sehr gut ausgebildet ist, obwohl eigentlich der mechano-sensorische bzw. vibratorische Sinn die Hauptinformationen aus der Umwelt liefern.

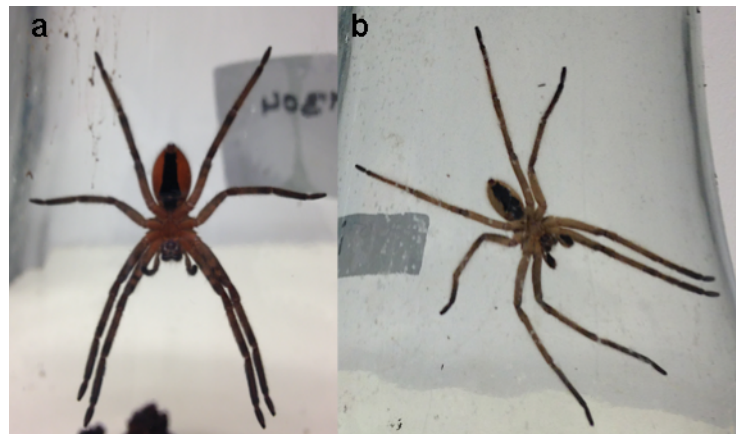


Abbildung 18, Die Versuchstiere *Cupiennius salei* am Neurobiologischen Institut der Universität Wien. a) Die Weibchen besitzen eine rote Färbung am Bauch, die Beine sind gestreift. b) Die Männchen sind bauchseitig unauffällig braun.

3.1 Das Versuchstier *C. salei*

C. salei ist eine nachtaktive Kammspinne (*Ctenidae*) mit einem natürlichen Verbreitungsgebiet in den Ländern Mittelamerikas. Der Zugang zu *C. salei* als Versuchstier in Mitteleuropa eröffnete sich zufällig. Erstmals wurde das Tier 1877 (Keyserling) beschrieben. Einige Tiere an *C. salei* gelangten mit einer Lieferung an tropischen Früchten, die dem Verkauf dienen sollten nach München. Die gefundenen Tiere wurde dem Zoologischen Institut München

übergeben, wo um 1960 die forschende Arbeit an *C. salei* startete (Barth, 2001).

3.1.1 Phylogenie = Verwandtschaft

Cupiennius salei gehört zur Familie der *Ctenidae* (Kammspinnen) und zur Überfamilie der *Lycosoidea*. Neben *C. salei* sind noch neun weitere Arten bekannt die zur Gattung *Cupiennius* zählen. Das sind *C. coccineus*, *C. getazi*, *C. remedius*, *C. cubae*, *C. granadensis*, *C. celrrimus*, *C. panamensis* und *C. foliatus* (Barth, 2001).

3.1.2 Das natürliche Verbreitungsgebiet

Die Gattung *Cupiennius* kann als mittelamerikanische Spinnengattung beschrieben werden. Man findet Vertreter dieser Gattung von Mexiko bis ins nördliche Kolumbien, aber auch auf den Inseln von Kuba und Haiti (Barth, 2001). Die Funde der Art *C. salei* beschränkt sich bisher auf Mexiko, Guatemala und Haiti (Barth, 2001), wobei beachtet werden muss, dass das Wissen über das Verbreitungsgebiet von Tieren dieser Größe und Lebensweise immer unvollständig ist (Barth, 2001). Die Tiere sind nämlich aufgrund ihrer Lebensweise schwer zu finden. Weiters findet zoologische Sammelarbeit nur an einzelnen Standorten statt und nicht in kompletten Gebieten bzw. Ländern. Die größte Dichte an *Cupiennius* liegt in Panama, die mit der Nähe zum Smithsonian Research Institute zu erklären ist, da sich viele Zoologen für ihre Arbeit dort ansiedeln und demnach auch dort nach den Tieren suchen (Barth, 2001).

Es gilt in der Zoologischen Freilandarbeit stets: Wo nicht gesucht wird, kann auch nichts gefunden werden. Es kann also erwartet werden, dass wenn man nach Vertretern von *Cupiennius* suchen würde, sie bestimmt in vielen anderen Gebieten finden würde.

Eine hohe Dichte an Tieren wurde in Gebieten gefunden, die zu zwei unterschiedlichen klimatischen Zonen gehören. *Cupiennius* kommt in Gebieten mit moderaten Tagestemperaturen von etwa 25° und einer hohen

Luftfeuchtigkeit von bis zu 90% vor, aber auch in tropischen und subtropischen Klimazonen, in denen Sommerregen und kältere, trockene Zeiten sich abwechseln (Barth und Seyfarth, 1979).

3.1.3 natürlicher Lebensraum und Beutefangverhalten von *C. salei*

C. salei ist wie jede Spinne ein ektothermes Tier, dass seine Körpertemperatur nicht durch Stoffwechselvorgänge regulieren kann. Dieser Faktor beeinflusst sehr stark die Wahl des Habitats und das Verhalten des Tieres.

Die Spinne ist nachtaktiv und baut keine Netze. Sie ist meist auf Bananenstauden und großen Bromelien zu finden, unter dessen großen Blättern sie sich versteckt (Barth, 2001). Diese Plätze schützen das Tier vor Feinden, aber auch vor abiotischen Faktoren. Das wichtigste scheint der Schutz vor zu hoher Sonneneinstrahlung während des Tages zu sein, damit der Flüssigkeitsverlust beschränkt ist und das Tier vor Austrocknung geschützt ist (Barth, 2001). Dieser gewählte Lebensraum ist ebenfalls zielführend um Beute aus dem Versteck zu attackieren und zu fangen. Bromelien und Bananen zählen zu den monokotyledonen Pflanzen, die von *Cupiennius* als Lebensraum präferiert werden. Vermutlich werden diese Pflanzen als Verstecke bevorzugt, da sie durch ihren Blattaufbau Vibrationen besser leiten als Blätter von dikotylen Pflanzen (Barth, 2001). Weiters spielen das Vorhandensein von Versteckmöglichkeiten und Beute eine entscheidende Rolle für die Wahl eines Mikrohabitats (Barth, 2001).

C. salei besitzt einen endogen gesteuerten Tag-Nacht-Rhythmus, an den sich auch die Aktivitätsphasen des Tieres orientieren. Verhaltensbeobachtungen in der Natur zeigten, dass sich das Tier kurz nach Sonnenuntergang (15 lux) aus dem Versteck bewegt und auf Beute lauert (Barth, 2001). Nach Einbruch der Dunkelheit (0,1 lux) ist die Aktivität am höchsten (Barth, 2001). Das Tier wandert herum und sucht aktiv nach Beute. Die Aktivitätsphase dauert zwischen 6-7 Stunden, wobei die höchste Aktivität in den ersten drei Stunden der Dunkelheit zu verzeichnen ist (Barth, 2001).

3.2 Das visuelle System von *C. salei*

C. salei besitzt wie die meisten Spinnen acht Augen, die in zwei Reihen angeordnet sind. Die Haupt- und Nebenaugen unterscheiden sich hinsichtlich ihres Aufbaus, aber auch in ihren Funktionen (vgl. 3.2.3).

Durch die Anordnung der acht Augen kann *C. salei* fast aus allen Richtungen visuelle Informationen aus ihrer Umgebung wahrnehmen. Die Sehfelder der AM und PM-Augen überlappen sich stark und auch die Sehfelder der beiden AM Augen haben etwa 8° in der Front der Spinne denselben Bereich (Abb. 19a; Land und Barth, 1992), wodurch räumliches Sehen möglich wird. Die PL-Augen zeigen ein weites Sehfeld nach hinten, wodurch nur etwa 30° hinter der Spinne nicht erblickt werden können (Abb. 19b; Kaps, 1998). Ein derart großes Sehfeld bringt den Vorteil eine Vielzahl an Informationen aus der Umwelt zu erhalten und vor allem Feinde zu detektieren um flüchten zu können. Dieser Aufgabe folgen auch die PM-Augen, deren Sehfelder die gesamte Hemisphäre über der Spinne abdecken und somit Feinde in der Luft wahrgenommen werden können (Abb. 19b; Kaps, 1998).

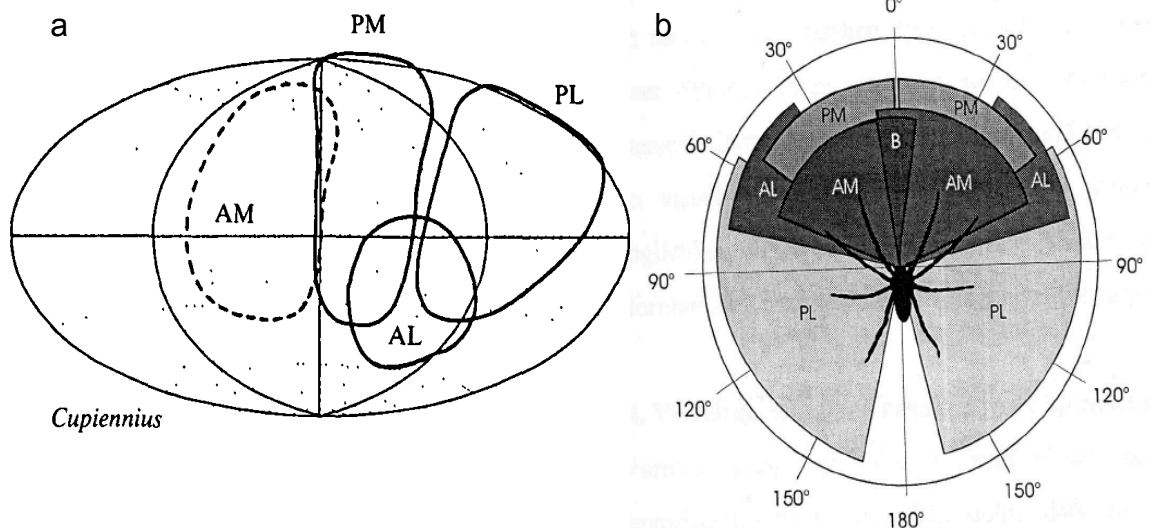


Abbildung 19, Das Sehfeld von *C. salei*. a) Durch die Anordnung der Augen von *C. salei* gibt es überlappende Sehfelder, die ein räumliches Sehen ermöglichen (nach Land und Barth, 1992). b) Besonders die Sehfelder der PM-Augen erstreckt sich über einen weiten Winkel nach hinten, sodass nur ein schmaler Bereich von etwa 30° hinter der Spinne für diese uneinsichtig ist (aus Kaps, 1998).

Prinzipiell ist es für *C. salei* in freier Natur lebensnotwendig bewegte Objekte zu detektieren um mögliche Feinde wahrzunehmen und die Flucht ergreifen zu können, aber auch um lebende Beute zu lokalisieren. Die Aufgabe Bewegung

und Formen wahrzunehmen obliegt verschiedenen Augentypen (Schmid, 1998). Stationäre Objekte zu unterscheiden ist die Aufgabe der AM-Augen. Diese Eigenschaft wurde eindrucksvoll durch Verhaltensversuche nachgewiesen, indem die verschiedenen Augentypen schwarz übermalt und ihre Funktion dadurch ausgeschaltet wurde. Anschließend wurden die Tiere in einer Versuchsarena freigelassen. Zuvor präferierte Objekte konnten dann nicht mehr von anderen Objekten unterschieden werden (Schmid, 1998).

C. salei weist bei einer Wellenlänge im Bereich von 520nm die höchste spektrale Sensitivität auf. Der Nachweis für Photorezeptoren mit diesem spektralen Maximum erfolgte sowohl durch intrazelluläre elektrische Messungen (Walla et al. 1996), als auch durch Verhaltensversuche (Zopf et al. 2013). Dabei wurden Tiere in einer Arena ausgesetzt und Licht von unterschiedlichen Wellenlängen präsentiert. Den Tieren wurde ein Versteck angeboten, dessen Wahrnehmung nur visuell möglich war (Zopf et al. 2013). *C. salei* besitzt noch zwei weitere Typen von Photorezeptoren. Sie absorbieren Wellenlängen im ultravioletten (340nm) und blauen (480nm) Bereich des Spektrums. Bei rotem Licht zeigten die Tiere die schlechtesten Ergebnisse (Zopf et al. 2013).

3.3 Versuch: Das visuell ausgelösten Angriffsverhalten von *C. salei*

Ein visueller Reiz kann bei *C. salei* Angriffsverhalten auslösen, die jenem, das von Substratvibrationen oder von einem Luftstrom ausgelöst wird, ähnlich sind (Fenk et al. 2010). Vor dieser Studie der Universität Wien teilte man dem visuellen System von *C. salei* und dem von anderen Spinnen eine untergeordnete Rolle beim Beutefang und aggressiven Abwehrverhalten zu.

Im Rahmen von verschiedenen Diplom-, Master- und Projektarbeiten wurden versucht, diejenigen Eigenschaften eines visuellen Reizes herauszufiltern und zu spezifizieren, die die höchste Reaktionsrate für gezeigtes Angriffsverhalten bewirkten. Dabei wurde den Versuchstieren ein am Computer generierter visueller Reiz präsentiert und eine Eigenschaft des Stimulus variiert. Einer der

wichtigsten Faktoren eines präsentierten Stimulus schien dabei immer die Bewegung des Reizes zu sein. Für die Spinne ist nicht die Form des visuellen Reizes relevant, sondern es reicht aus, einen bewegten schwarzen Punkt zu präsentieren um Angriffsverhalten auszulösen (Fenk et al. 2010).

Vorstudien zu dem hier vorgestellten Versuch zeigten, dass die Reaktionsrate erhöht werden konnte, wenn es sich um einen dunklen Reiz auf hellen Hintergrund handelte (Fenk et al. 2010). Je größer der Kontrast von Hintergrund und präsentiertem Reiz (Fenk et al. 2010) und je größer der Reiz war, desto höhere Reaktionsraten wurden erzielt (Lindner, 2013).

Der visuelle Reiz war in allen Versuchen ein schwarzer Punkt. Der Hintergrund wurde grün gewählt, da *C. salei* bei grünem Licht (520nm) die besten Ergebnisse bei visuellen Versuchen zeigte.

Einen Einfluss auf die Reaktionsrate durch die Richtung, in die sich der Stimulus bewegt, konnte ebenfalls bereits nachgewiesen werden (Schützinger, 2014). *C. salei* reagiert sehr schlecht bis gar nicht auf visuelle Reize, die sich horizontal bewegen. Die höchste Reaktionsrate an Angriffsverhalten wurde ausgelöst, wenn sich der Reiz von unten nach oben mit einem Winkel von etwa 55° bewegt (Schützinger, 2014). Diese Ergebnisse konnten mit der natürlichen Lebensweise von *C. salei* erklärt werden. *C. salei* ist ein Lauerjäger, der sich auf dem Substrat immer so positioniert, sodass das Prosoma nach unten zeigt. Bewegen sich Reize, etwa ein Beutetier, vor der Spinne horizontal vorbei, so befindet sich dieses nur kurz im Sehfeld des Tieres und kann auch, aufgrund der Position nur schwer attackiert werden. Bewegt sich jedoch eine potentielle Beute auf einem Stamm oder eine Blüte, wo sich auch *C. salei* befindet, auf und ab so ist die Wahrscheinlichkeit für einen erfolgreichen Beutefang um einiges höher. Die Beute kann besser beobachtet und durch einen gezielten Sprung und anschließenden Biss gefangen und getötet werden (Schützinger, 2014).

Der nun detailliert vorgestellte Versuch berücksichtigte all diese Informationen und versucht zu klären, welchen Einfluss die Geschwindigkeit des visuellen Reizes auf die Reaktionsrate hat. Im abschließenden Kapitel wird näher darauf

eingegangen, wie sich dieser Versuch an einer Schule, an der Spinnen gehalten werden, umsetzen lässt.

3.3.1 Material und Methode

3.3.1.1 Versuchstiere

Insgesamt wurden 64 weibliche prä-adulte Tiere im Alter zwischen 4 und 12 Monaten getestet. Die Tiere entstammen der Züchtung des Departements für Neurobiologie der Universität Wien. Die Tiere werden dort einzeln in großen Gläsern gehalten. Der Boden des Glases ist mit befeuchtetem Torf bedeckt und in einem kleinen Wassertrog stand Wasser ständig zur Verfügung. Bei Bedarf wurde das Substrat befeuchtet und der Wassertrog befüllt. Einmal wöchentlich wurden die Tiere mit 4-5 lebenden Fliegen gefüttert.

Die Ruhestellung im Glas war zugleich die Ausgangsposition einer Spinne für den visuellen Versuch. Bei dieser Ruhestellung sitzen die Tiere mit dem Prosoma nach unten gerichtet an der Wand des Glases.

In einem Laborraum der Universität fanden während des Sommers 2014 die Versuche statt. Die Tiere waren an einen Tag-Nachtrhythmus von 12:12 Stunden ausgesetzt, wobei die Dunkelphase zwischen 8:00 früh und 20:00 Abends angesetzt wurde um tagsüber die Versuche während der Aktivitätsphase der Spinne durchführen zu können.

Die Versuche wurden mit weiblichen Tieren durchgeführt, da sie aufgrund der Eiproduktion und Brutpflege einen höheren Energiebedarf als Männchen haben und dadurch ein aggressiveres Verhalten zeigen. Das gleiche gilt für Tiere, die das adulte Stadium noch nicht erreicht haben. Prä-adulte Tiere, die sich kurz vor der letzten Reifehäutung befinden, müssen vermehrt Energie aufnehmen, da für die Häutungen extrem viel Energie benötigt wird. Kurz vor und nach der Häutung sind die Tiere jedoch sehr inaktiv, weswegen die Versuchsergebnisse einer Spinne drei Tage vor Häutung aus der Auswertung genommen wurden. Nach einer Häutung wurde das Tier für drei Tage nicht getestet.

3.3.1.2 Versuchsaufbau und –bedingungen

Der Versuchsaufbau bestand aus zwei Bildschirmen, die jeweils mit einem Laptop verbunden waren, durch den die visuellen Reize präsentiert und der Versuchsdurchgang kontrolliert werden konnte. Jeder Laptop war mit einer Kamera verbunden, um die Versuche für spätere Analysen aufzunehmen (Abb. 20).

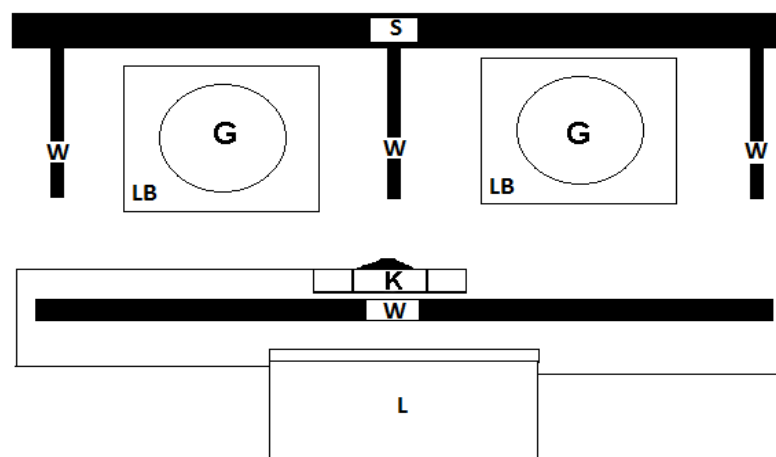


Abbildung 20, Schematische Aufsicht auf den Versuchsaufbau. Jeweils zwei Spinnen wurden in ihren Gläsern (G) vor einem LCD-Screen (S) mit Hilfe eines Labor-Boys (LB) auf der richtigen Höhe positioniert. Visuelle Barrieren (W) wurden aus Styroporwänden aufgebaut, sodass die Spinnen voneinander und auch vom Versuchsleiter am Laptop (L) getrennt waren. Eine Kamera (K) zeichnete die Versuche für die spätere Auswertung auf (aus Reithofer, 2014).

Jeweils zwei Versuchstiere wurden vor dem Bildschirm in ihren Gläsern positioniert. Die Tiere wurden von der Umwelt und voneinander durch Styropor-Wände abgetrennt (Abb. 20). Dadurch wurde sicher gestellt, dass das gezeigte Verhalten nur von den visuellen Reizen des Bildschirms ausgelöst wurde. Auch der Laptop und somit die Position des Versuchsleiters wurden durch Styroporwände visuell von den Spinnen abgeschirmt. Vibratorische Reize, auf die Spinnen besonders sensibel reagieren, wurden ausgeschaltet, indem unter den Gläsern der Spinnen Styropor-Unterlagen platziert wurden. Weiters wurden Versuche nur durchgeführt, wenn in den Nebenräumen des Labors keine Veranstaltungen der Universität stattfanden.

Mithilfe eines Labor-Boys, kleinen Hebebühnen auf denen ein Spinnenglas stand, konnte die Position der Spinne bezüglich der Höhe angepasst werden.

Insgesamt waren zwei Bildschirme, zwei Laptops und zwei Kameras vorhanden, sodass insgesamt vier Versuchstiere zugleich getestet werden konnten.

Die Temperatur betrug in dem Labor zwischen 21°C und 29°C. Die relative Luftfeuchte schwankte zwischen 50% und 65%. Die Lichtintensität wurde ebenfalls reguliert und mit 35,2lx den Bedingungen aus Vorstudien angeglichen (Lindner, 2013 und Schützinger, 2014).

3.3.1.3 Versuchsdurchführung

Jede Spinne nahm maximal zweimal täglich mit einer Mindestpause von drei Stunden an einem Versuchsdurchgang teil. Die Spinne wurde dabei in 30 cm Abstand vor dem Bildschirm mit Hilfe eines Labor-Boys derart positioniert, sodass sich die Spinne zentral vor dem Bildschirm an der Hinterseite des Glases in Ruhestellung befand und die posterior-medianen Augen direkt auf den Bildschirm gerichtet waren.

Anschließend wurde eine Pause von zehn Minuten eingehalten, damit sich die Tiere an die Bedingungen gewöhnen und eventuellen Stress durch die Positionierung abbauen können. In diesen zehn Minuten wurde nur der grüne Hintergrund den Tieren auf dem Bildschirm präsentiert. Anschließend startete die visuelle Stimulation der Tiere.

3.3.1.4 Visuelle Stimulation

Alle visuellen Reize wurden mithilfe des Programms Microsoft Powerpoint generiert. Die Präsentation beinhaltete einen schwarzen Punkt, der sich von unten auf grünem Hintergrund in den Bildschirm bewegt und senkrecht mit gleichbleibender Geschwindigkeit über den Bildschirm gleitet (Abb. 21).

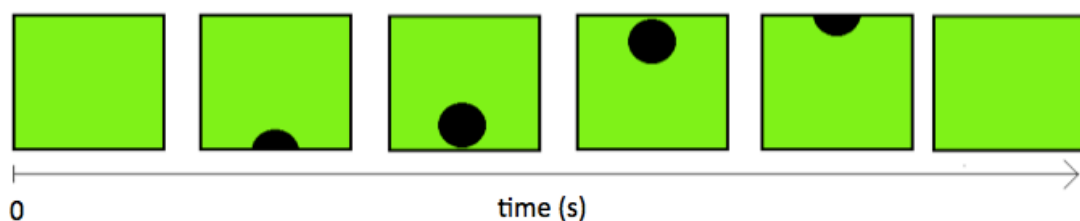


Abbildung 21, Schematischer Ablauf der visuellen Stimulation von *C. salei*. Ein schwarzer Punkt auf grünem Hintergrund erscheint am unteren Ende des Bildschirmes und bewegt sich mit gleichbleibender Geschwindigkeit senkrecht nach oben (aus Reithofer, 2014).

Am oberen Rand verlässt er den Bildschirm und erscheint wieder erneut. Er bewegt sich anschließend mit der gleichen Geschwindigkeit wieder nach unten und verlässt den Bildschirm. Diese Bewegung wurde bei den getesteten Geschwindigkeiten unterschiedlich oft wiederholt.

Die Punktgröße wurde zuerst absolut gemessen, um anschließend die scheinbare Größe des visuellen Reizes zu berechnen. Die Berechnung ergibt sich mithilfe der Tangens-Winkelfunktion für ein rechtwinkeliges Dreieck aus der Skizze zum Sehwinkel in Abbildung 22. Das ergibt eine scheinbare Größe von 15° für einen Punkt mit 8cm Durchmesser. Der gesamte Bildschirm ergab eine scheinbare Größe von $\alpha=64^\circ$ (38cm Höhe).

Demnach kann auch die Geschwindigkeit des Punktes berechnet werden und ergibt sich jeweils aus $\frac{\text{Winkel } \alpha}{\text{benötigte Zeit } t}$ um den Bildschirm zu durchwandern. Diese Zeitdauer t wurde durch das Erscheinen eines Bruchstückes des Punktes am Bildschirm begonnen und endete als der Punkt später komplett vom Bildschirm verschwunden war.

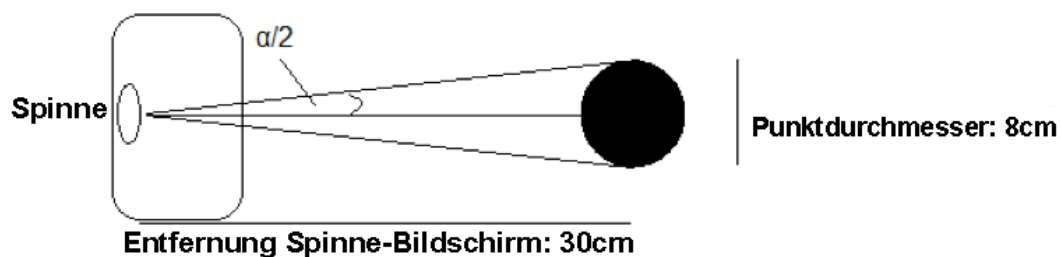


Abbildung 22, Skizze zur Berechnung des scheinbaren Größe α des visuellen Reizes. Unter Kenntnis der Entfernung zwischen Spinne und Bildschirm ($g=30\text{cm}$) sowie der absoluten Größe des Punktes ($r=8\text{cm}$) kann die scheinbare Größe (α) des Punktes mit der Formel $\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{g}{2r}$ berechnet werden (Skizze aus Reithofer, 2014).

In Vortests wurden Ergebnisse aus vorhergegangenen Studien (Schützinger, 2014) verwendet und erneut untersucht, um den Parameter Punktgröße demnach festzulegen, sodass eine möglichst hohe Reaktionsrate bei der visuellen Stimulation erzielt werden kann. Weiters wurde in den Vortests untersucht, ob es zu Unterschieden in den Reaktionsraten führt, wenn der Punkt am unteren Rand erscheint und sich nach oben bewegt oder umgekehrt. Dazu wurden vier Vorversuche durchgeführt, wobei jeweils die Bewegung des Punktes und seine Größe kombiniert wurden. Die Ergebnisse dieser Vortests

zeigten, dass ein kleiner Punkt, der sich von oben nach unten bewegt signifikant weniger Reaktionen auslöst, als größere Punkte.

Demnach wurde entschieden, den größeren Punkt ($8\text{cm}=15^\circ$) und die Bewegung von unten nach oben für die Geschwindigkeitsversuche zu verwenden.

Ebenso wurde eine Kontrollreihe durchgeführt, um zu zeigen, dass die Geschwindigkeit und nicht die reine Anwesenheit eines optischen Reizes Angriffsverhalten bei *C. salei* auslöst.

Der Kontrolltest bestand dazu aus einer zehnminütigen Pause, in der wie bei den Geschwindigkeitstests nur der grüne Bildschirm zu sehen war. Jedoch folgte auf die Pause ein zentraler Punkt mit gleicher Größe am Bildschirm, der sich nicht bewegte. Der visuelle Reiz wurde für 15min gezeigt (Tab. 2).

3.3.1.5 Geschwindigkeitstests und Versuche zur Punkterscheinung

Um zu untersuchen, ob die Geschwindigkeit eines bewegten visuellen Reizes ausschlaggebend für Angriffsverhalten ist, wurden insgesamt elf Geschwindigkeitstests durchgeführt. Die Geschwindigkeiten wurden dabei zwischen $81,9^\circ/\text{s}$ und $0,013^\circ/\text{s}$ variiert (Tab. 2). Punktgröße und Richtung wurden dabei konstant gehalten.

Unvermeidbar war, dass die Gesamtdauer der Präsentationen aufgrund der unterschiedlichen Geschwindigkeiten sehr stark variieren. Um diesen möglichen Einfluss etwas zu drosseln, wurden die schnellen Tests (Test 1-7) drei- bis viermal wiederholt (Tab. 2).

Tabelle 2, Parameter der Geschwindigkeitstests. Bei der Kontrollgruppe bewegte sich der Punkt nicht. Bei den anderen Tests variierte die Geschwindigkeit zwischen 81,9°/s und 0,013°/s. Bei schnelleren Geschwindigkeiten wurde die visuelle Stimulation öfters wiederholt.

Test	Geschwindigkeit [°/s]	Gesamtdauer der Präsentation [s]	Punkt komplett sichtbar nach [s]	Punkt verschwindet komplett nach [s]	Wiederholungen der visuellen Stimulation
Test 1	81.9	15	0.19	0.8	4
Test 2	42.6	20	0.35	1.5	4
Test 3	30.1	25	0.50	2.1	4
Test 4	17.3	60	0.86	3.7	4
Test 5	6.1	70	2.5	10.5	3
Test 6	2.9	170	5.4	22.2	3
Test 7	0.98	200	15.4	65.6	3
Test 8	0.49	280	30.7	130.8	1
Test 9	0.118	545	127.9	545.2	0
Test 10	0.059	1093	256.4	1093.0	0
Test 11	0.013	4685	1099.8	4685.7	0
Kontrolle	0	900	-	-	-

Weiters wurden Experimente durchgeführt, um den Einfluss des Erscheinens des Punktes auf dem Bildschirm zu untersuchen. Diese Versuche wurden durchgeführt, da nach einigen Versuchsdurchgängen der Geschwindigkeitstests erkannt wurde, dass *C. salei* meist auf den Punkt mit Angriffsverhalten reagiert, wenn dieser noch nicht vollständig auf dem Bildschirm zu sehen war. Um dieser Frage auf den Grund zu gehen, wurden zwei Testsituationen A und B hergestellt und Versuchsreihen durchgeführt. Versuchsreihe A war der normale Geschwindigkeitstest, wobei sich der Punkt am unteren Rand des Bildschirms in die Bildfläche bewegte. Testsituation B zeigte von Beginn an einen stationären, vollkommen sichtbaren Punkt, der sich, wenn der Punkt aus Kondition A komplett sichtbar war, sich ebenfalls nach oben bewegte (Abb. 23). Es wurden jeweils etwa 30 Versuchsdurchläufe durchgeführt, wobei die Geschwindigkeiten aus Test 9 (0,059°/s) und Test 10 (0,118°/s) verwendet wurden, da diese die meisten Reaktionen bei den Geschwindigkeitstests auslösten (vgl. Ergebnisse). Die Testsituationen unterscheiden sich also nur in der Art des Erscheinens des Punktes. Die Dauer der Präsentationen sind ident.

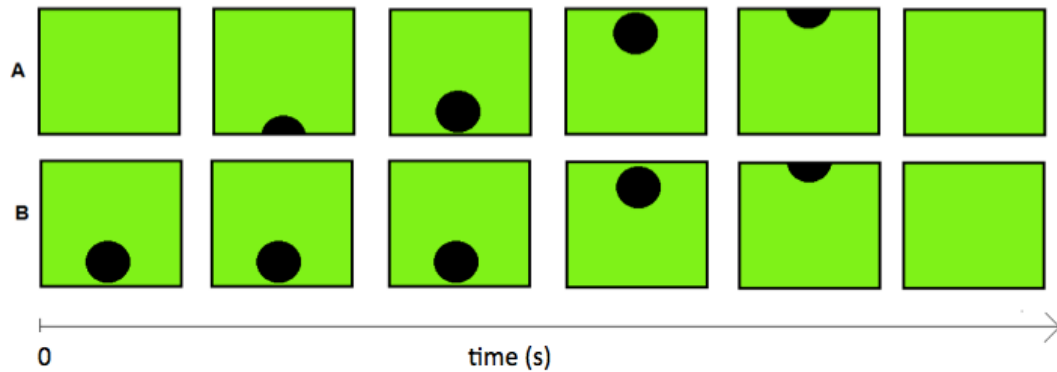


Abbildung 23, Schematischer zeitlicher Ablauf der Versuche zur Punterscheinung. Testsituation B unterscheidet sich von Testsituation A (Geschwindigkeitstests), da der Punkt nach der zehnmütigen Pause sofort auf der Bildfläche komplett erscheint und sich erst nach oben bewegt, wenn der Punkt aus Testsituation A die gleiche Position erreicht hat (aus Reithofer 2014).

3.3.1.6 Datenanalyse

Die aufgezeichneten Versuche wurden mit dem Programm Solomon-Coder (Solomon Coder, András Péter, Mailand, Italien) ausgewertet. Dabei wurden die Verhaltensweisen **Attacke**, **Orientierung**, **Verfolgung** und **Drohen** beobachtet, und deren Latenzzeit analysiert. Die Auflösung der Videos betrug 33ms/frame und die Latenzzeit wurde ab jenem Zeitpunkt gemessen, wo sich der Punkt in die Bildschirmfläche bewegt.

Statistische Analysen wurden mit dem Programm IBM SPSS Statistics 22.0.0.0 (IBM Statistics, Armonk, USA) durchgeführt. Die Unterschiede bezüglich Reaktionsrate und Zusammensetzung der gezeigten Verhaltensweisen bei den unterschiedlichen Geschwindigkeiten wurden mit dem χ^2 -Test auf ihre Signifikanz geprüft.

Die Verhaltensweisen Attacke, Orientierung, Verfolgung und Drohen werden wie folgt definiert:

Attacken

Als Attacke bezeichnet man einen Sprung der Spinne aus ihrer Ruheposition in Richtung des visuellen Stimulus. Dieser Sprung dauert nicht länger als eine Sekunde und endet am Boden des Glasgefäßes oder an der Seitenwand, die dem Bildschirm zugewandt ist. Die Attacke ist die aggressivste Verhaltensweise, die beim Beutefang vorkommt. Während einer visuellen Stimulation kann es zu mehreren Attacken kommen.

Verfolgung

Als Verfolgung ist Verhalten definiert, das aus schnellen Laufbewegungen in Richtung des visuellen Reizes besteht. Das Verfolgen beinhaltet keine Sprünge. Das Verfolgungsverhalten kann sowohl an der Glaswand als auch am Boden stattfinden, sodass es zeitlich vor oder nach einer Attacke vorkommt.

Orientierung

Orientierung der Spinne ist gegeben, wenn die Spinne ihre Körperposition verändert, den Ort im Glas aber nicht ändert. Orientierung ist also nicht mit Lokomotion verbunden. Orientierungsverhalten dient der Spinne zur besseren Beobachtung des visuellen Reizes und kann mehrfach in einem Versuchsdurchgang auftreten. Orientierungsverhalten ist das Verhalten mit dem niedrigsten Aggressionsniveau, ist aber für den Beutefang essentiell. Denn damit eine Attacke erfolgreich ist, muss zuerst die Beute beobachtet und die richtige Absprungposition eingenommen werden.

Drohverhalten

Als Drohverhalten sind Bewegungen der Vorderbeine definiert. Ohne eine Ortsveränderung im Glas werden die Vorderbeine nach oben und vorwärts in Richtung des visuellen Reizes gestreckt. Drohverhalten kann zeitlich jederzeit vorkommen.

Die aufgetretenen Latenzzeiten bei den Geschwindigkeitstests wurden dem Wilcoxon-Test unterzogen, um die Daten von jeweils zwei unterschiedlichen Geschwindigkeiten zu vergleichen. Jede Geschwindigkeit wurde mit den nächst-langsameren Geschwindigkeiten verglichen, bis es zu einem signifikanten Unterschied laut Wilcoxon kam.

Kam es während eines Versuchsdurchgangs zu einer visuellen oder vibratorischen Störung, etwa eine zufallende Tür, so wurden die Durchgänge als ungültig gewertet und für die Auswertung nicht herangezogen.

3.3.2 Ergebnisse

3.3.2.1 Vortests

Insgesamt wurden 720 Tiere bei den Vorversuchen getestet. Vortest 4, wo sich ein großer Punkt (15°) von unten nach oben bewegte, brachte die höchste Reaktionsrate (26,3%) hervor (Tab. 3). Die niedrigste Reaktionsrate wurde im Vortest 1 beobachtet. Nur 10,7% der Spinnen reagierten auf einen Punkt mit 11° Größe, der sich von oben nach unten über den Bildschirm bewegte (Tab. 3). Diese Reaktionsrate war auch signifikant geringer, als die anderen Reaktionsraten.

Tabelle 3, Ergebnisse der Vorstudien. Vortest 4 erzielte die höchste Reaktionsrate. Die niedrigste Reaktionsrate war bei Vortest 1 zu beobachten. Die Spinnen reagierten auf diesen visuellen Reiz signifikant niedriger als auf die Tests 2-4.

Vortest	Punktgröße	Richtung	n	Reaktionsrate
1	●	↓	206	10.7%
2	●	↑	168	24.4%
3	●	↓	171	23.3%
4	●	↑	175	26.3%
gesamt			720	20.7%

3.3.2.2 Kontrolltests

Bei den Kontrolltests wurden 76 Spinnen mit der Testsituation B konfrontiert, wo sie einen stationären Punkt präsentiert bekamen. Dabei kam es zu einer Reaktionsrate von 14,3%, das entspricht elf reagierenden Spinnen. Diese elf Spinnen zeigten jeweils nur Verfolgungs- und Orientierungsverhalten. Attacken oder Drohverhalten, die als aggressiver eingestuft werden, kamen nicht vor.

3.3.2.3 Geschwindigkeitstests

Reaktionsrate

Elf verschiedene Geschwindigkeiten zwischen 0,013-81,9°/s wurden mit insgesamt 1891 Versuchsläufen an 58 weiblichen Tieren getestet. In 681 Läufen reagierten die Spinne mit einer der vier definierten

Beutefangverhaltensweisen bei den visuellen Reizen. Das ergibt eine Gesamtreaktionsrate von 36,5% (Tab. 4).

Tabelle 4, Reaktionsrate [%], Stichprobenumfang (n) der Geschwindigkeitstests von *C.salei*. Die Reaktionsrate schwankt enorm bei den verschiedenen Geschwindigkeiten. Die höchste Reaktionsrate von 75% wurde bei einer Geschwindigkeit von 0,49°/s erreicht.

Test	Geschwindigkeit [°/s]	n (total)	Reaktionsrate			
			Keine Reaktion (n)	%	Reaktion (n)	%
1	81.9	199	195	98.0	4	2.0
2	42.6	214	197	92.1	19	7.9
3	30.1	218	164	75.2	28	24.8
4	17.3	242	169	69.8	150	30.2
5	6.1	219	126	57.5	145	42.5
6	2.9	205	117	57.1	88	42.9
7	0.98	247	102	41.3	93	58.7
8	0.49	200	50	25.0	73	75.0
9	0.118	62	34	54.8	54	45.2
10	0.059	57	38	66.7	17	33.3
11	0.013	28	18	64.3	4	35.7
Total		1891	1210	63.5	675	36.5

Die wenigsten Reaktionen wurden bei der schnellsten Geschwindigkeit (81,9°/s) ausgelöst. Dort lag die Reaktionsrate bei nur 2% (Tab. 4, Abb. 24). Mit langsamer werdenden Geschwindigkeiten erhöhte sich die Reaktionsrate bis zu einem Maximalwert von 75%. Dieser Wert wurde bei einer Geschwindigkeit von 0,49°/s erreicht (Tab. 4, Abb. 24).

Bei der langsamsten Geschwindigkeit von 0,013°/s, betrug die Reaktionsrate immer noch 35,7% (Tab. 4, Abb. 24). Es wurde keine untere Geschwindigkeitsgrenze für die Auslösung von Beutefangverhalten gefunden.

Die Auswertung mit dem χ^2 -Test zeigte einige signifikante Unterschiede zwischen den Geschwindigkeiten auf. Bei den beiden schnellsten Geschwindigkeitstests (81,9°/s und 42,6°/s) wurden signifikant weniger Reaktionen gezeigt als in allen anderen Tests. Im Bereich von 30,1°/s bis 17,3°/s konnte keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Ebenfalls kann der Bereich zwischen 6,1°/s und 2,9°/s als einer aufgefasst werden, da sich die Reaktionsraten nicht signifikant unterscheiden. Auch die drei langsamsten Geschwindigkeiten, die eine Reaktionsrate zwischen 35,7% und 45,2% aufwiesen, bringen keine statistisch signifikanten Unterschiede.

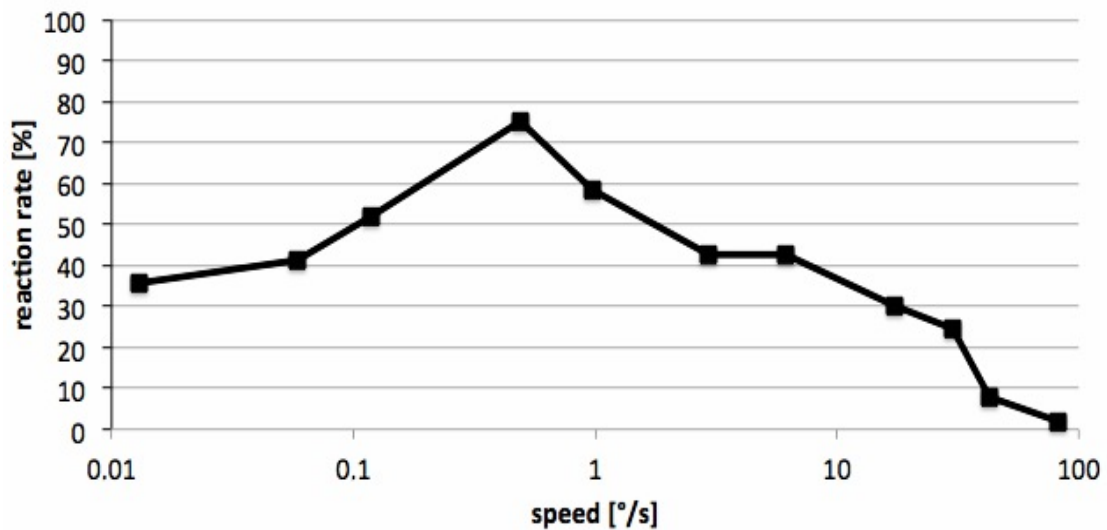


Abbildung 24, Reaktionsraten bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten [°/s]. Die maximale Reaktionsrate wurde bei 0,49°/s erreicht. Wird die Geschwindigkeit erhöht, so nähert sich die Reaktionsrate 0% an. Mit sinkender Geschwindigkeit sinkt zwar ebenfalls die Reaktionsrate, beträgt bei der langsamsten Geschwindigkeit jedoch immer noch 35,7% (aus Reithofer, 2014).

Latenzzeit

Die Latenzzeit ist jene Zeitdauer, von Beginn der visuellen Stimulation bis die erste Verhaltensweise gezeigt wird. Die Latenzzeiten unterscheiden sich in den Geschwindigkeitstest stark, wobei natürlich beachtet werden muss, dass je langsamer sich der visuelle Stimulus bewegt, desto länger benötigt der Punkt bis er vollständig am Bildschirm zu sehen ist. Prinzipiell kann dennoch festgestellt werden, dass je schneller sich der Punkt bewegt, desto schneller reagiert auch die Spinne.

Die Boxplots in Abbildung 25 zeigen die wichtigsten statistischen Streuungsmaße zu den Latenzzeiten bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten. Es ergibt sich eine maximale Latenzzeit von 2100s (=35min) bei der langsamsten Geschwindigkeit und eine schnellste Reaktion von 0,43s bei der schnellsten Geschwindigkeit (Abb. 25). Die Latenzzeiten und auch die Spannweiten der einzelnen Geschwindigkeitstests nehmen kontinuierlich ab. Das ist besonders gut an den Medianen zu erkennen. Die Latenzzeiten wurden mit Hilfe des Wilcoxon-Test untersucht. Mit steigender Geschwindigkeit nimmt die Latenzzeit signifikant ab. Jede Geschwindigkeit unterscheidet sich signifikant von ihren benachbarten Geschwindigkeitstests (Abb. 25).

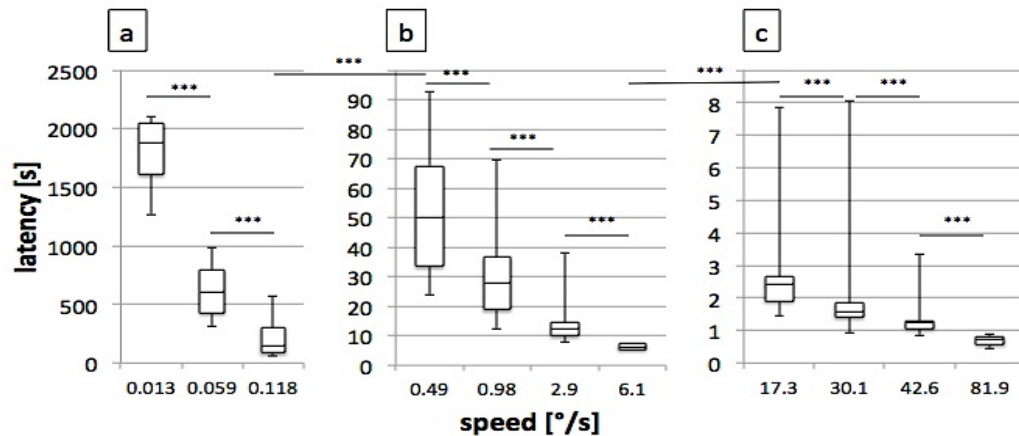


Abbildung 25, Latenzzeiten bis zur ersten gezeigten Verhaltensweise von *C. salei*. Mit steigender Geschwindigkeit nehmen die Latenzzeiten signifikant ab (aus Reithofer, 2014).

Position des Punktes

Da sich eine Analyse der Latenzzeiten als schwierig herausstellte, da die Dauer der Präsentationen aufgrund der unterschiedlichen Geschwindigkeiten stark variierten, wurde zusätzlich die Position des Punktes am Bildschirm untersucht, wo es zur ersten Reaktion der Spinne kam.

Dazu wurde der 64° hohe Bildschirm bei der Videoanalyse in drei gleich große Abschnitte geteilt, und es wurde analysiert wo sich der größte Teil des Punktes bei der Reaktion befand. Alle Spinnen hatten die gleiche Ausgangshöhe verglichen zum Bildschirm.

Je schneller sich der Punkt bewegte, desto weiter bewegte sich der Punkt über den Bildschirm bis die erste Reaktion erfolgte. Ab einer Geschwindigkeit von 17,3°/s, reagierten mehr als 70% der Spinnen erst auf den Punkt, wenn er sich im oberen Drittel des Bildschirms befand. War der Punkt langsamer als 1°/s, so befand er sich bei 40° der Reaktionen im unteren Drittel des Bildschirms.

Im Bezug auf die Position des Punktes, wurde auch die Wegdistanz des Punktes berechnet, der je nach Geschwindigkeit die erste Reaktion bei einer Spinne auslöste. Demnach lässt die minimale Wegdistanz auch eine Aussage darüber zu, ob der Punkt bereits vollständig zu sehen war, als *C. salei* die schnellste Reaktion bei einer Geschwindigkeit zeigte und gibt Auskunft über die

visuellen Fähigkeiten des Tieres. Erst ab einer Geschwindigkeit von $6,1^\circ/\text{s}$ kam es zu Reaktionen, wenn der Punkt bereits im mittleren Sektor des Bildschirms war. Bei allen niedrigeren Geschwindigkeiten reagierte die Spinne mit der kleinsten Latenz. Bereits im unteren Drittel des Bildschirms kam es zur ersten Reaktion. Am wenigsten war vom Punkt zu sehen bei einer Geschwindigkeit von $0,49^\circ/\text{s}$. Bei dieser Geschwindigkeit wanderte der Punkt nur $6,7^\circ$, und demnach war auch weniger als die Hälfte des Punktes zu sehen (Abb. 26). War die Geschwindigkeit niedriger, so musste bereits der gesamte Punkt sichtbar sein, um eine Reaktion auszulösen, ab einer Geschwindigkeit größer als $6,7^\circ/\text{s}$ befand sich der Punkt immer im mittleren Bereich des Bildschirms als es zur ersten Reaktion der Spinne kam (Abb. 26).

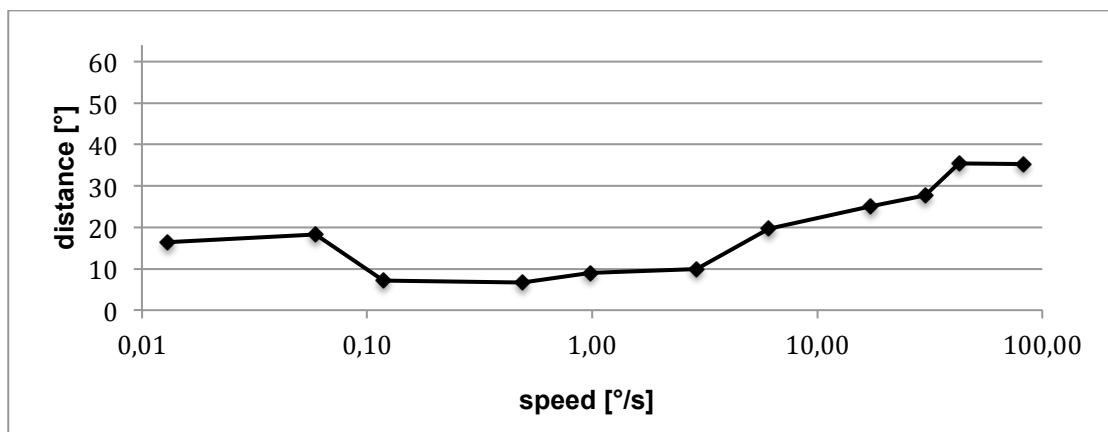


Abbildung 26, Minimaldistanz des Punktes bis zur ersten Reaktion abhängig von der Geschwindigkeit des Punktes. Bei Geschwindigkeiten zwischen $0,1^\circ/\text{s}$ und $6,1^\circ/\text{s}$ war der Punkt noch nicht vollständig sichtbar, als die schnellste Reaktion erfolgte. Bei den beiden größten Geschwindigkeiten befand sich der Punkt bereits im oberen Bereich des mittleren Drittels, als die erste Reaktion gezeigt wurde (aus Reithofer, 2014).

Verhaltensweisen

Einen zentralen Punkt dieser Studie stellte die Frage dar, ob bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten des Punktes unterschiedliche Verhaltensweisen gezeigt werden.

Insgesamt wurden in den 1891 gültigen Versuchsdurchgängen 2022 Verhaltensweisen gezeigt. Bei jedem Geschwindigkeitstest wurde am häufigsten das Verfolgungsverhalten gezeigt (Abb. 27).

Am häufigsten reagierte *C. salei* mit Verfolgungsverhalten auf den visuellen Reiz. Diese Verhaltensweise war in jeder Geschwindigkeit am häufigsten und

mit über 30% der gesamten Verhaltensweisen präsent. Der Punkt wurde bei langsamen Geschwindigkeitsbedingungen nur sehr wenig attackiert, mit steigender Geschwindigkeit erhöhte sich der Anteil der Attacken auf mehr als 20%. Die meisten Attacken wurden bei einer Geschwindigkeit von 42,6°/s gezeigt (Abb. 27).

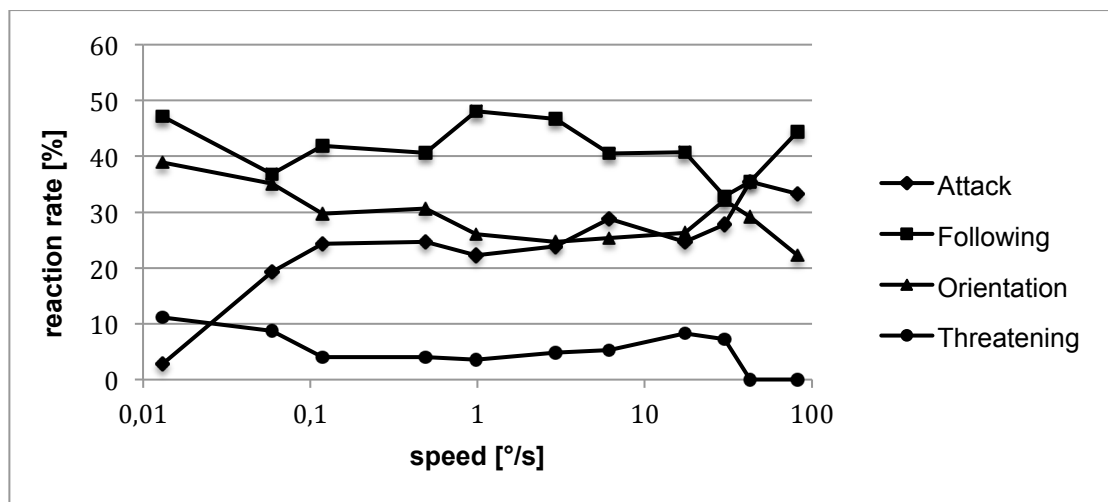


Abbildung 27, Zusammensetzung der gezeigten Verhaltensweisen bei den unterschiedlichen Geschwindigkeiten. Verfolgungsverhalten wurde bei allen Geschwindigkeiten zu mehr als 30% gezeigt. Drohverhalten war bei allen Tests, außer bei der langsamsten Geschwindigkeit, jene Verhaltensweise die am wenigsten von *C. salei* gezeigt wurde (aus Reithofer, 2014).

Weiters wurde analysiert, welche Verhaltensweise als erstes gezeigt wurde. Insgesamt wurden hier die Daten der 681 positiven Läufe, bei denen eine Reaktion auf den visuellen Reiz erfolgte, ausgewertet. In Abbildung 28 ist ersichtlich, dass sich bei ändernder Geschwindigkeit auch die erste Verhaltensweise der Spinne ändert. In allen Geschwindigkeitstests wurden am häufigsten Attacken oder Orientierungsverhalten als erste Reaktion gezeigt. Verfolgungs- und Drohverhalten wurden am wenigsten gezeigt (Abb. 28), was einen deutlichen Unterschied zu der Verteilung der gesamten gezeigten Verhaltensweisen darstellt. Drohverhalten erreichte bei keiner Geschwindigkeit eine höhere Reaktionsrate als 10%, außer bei Test 11, wo sich der Punkt mit der langsamsten Geschwindigkeit bewegte. Orientierungsverhalten wurde besonders im Geschwindigkeitsbereich zwischen 2,9°/s und 42,6°/s gezeigt, wobei die höchste Orientierungsrate mit 67% bei einer Geschwindigkeit von 30,1°/s lag. Attacken wurden als erste Verhaltensweise in einem

Geschwindigkeitsbereich von 0,059°/s bis 0,49°/s und bei der schnellsten Testkondition gezeigt (Abb. 28).

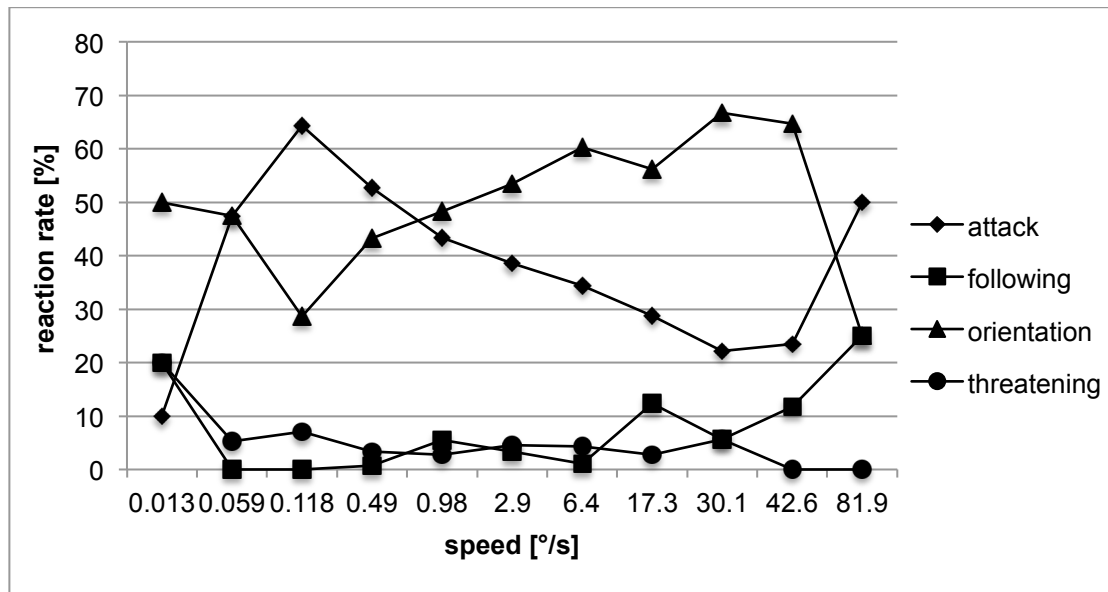


Abbildung 28, Erste gezeigte Verhaltensweisen bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten. In jedem Geschwindigkeitstest wurde als erstes Orientierungsverhalten gezeigt oder der bewegte Punkt wurde attackiert (aus Reithofer, 2014).

Erscheinen des Punktes am Bildschirm - Reaktionsrate

Während der Durchführung der Geschwindigkeitstest fiel auf, dass viele Reaktionen auf den Punkt bereits gezeigt werden, wenn der Punkt noch nicht vollständig auf dem Bildschirm zu sehen ist. Es stellte sich daher die Frage, ob das Hineingleiten des Punktes in den Bildschirm eine mögliche Auswirkung auf die Reaktionsraten haben kann.

Die Ergebnisse zu den Testkonditionen A und B lieferten signifikante Unterschiede zwischen diesen visuellen Stimulationen. Gleitet der Punkt in den Bildschirm, so zeigte sich eine Gesamtreaktionsrate von 57% (Abb. 29). Bei Testkondition B, erschien hingegen der Punkt als Ganzes am unteren Rand des Bildschirms und bewegte sich nach einer Pause nach oben, reagierte *C. saiei* in nur 22% der Versuchsdurchgänge (Abb. 29). Die Unterschiede sind signifikant (Abb. 29).

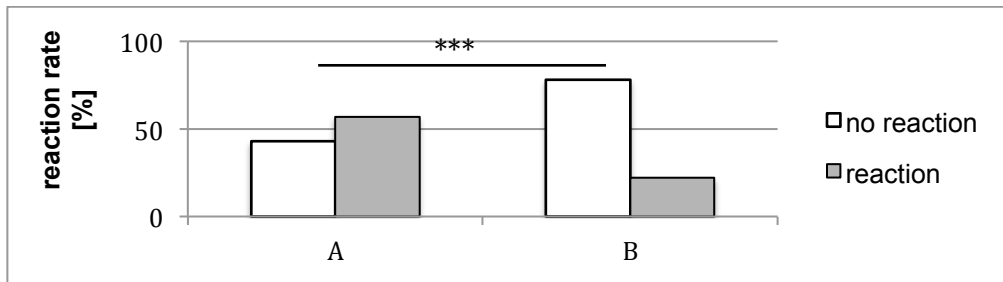


Abbildung 29, Reaktionsraten in Testkondition A und B. Bei Testkondition A wurde eine Rate von 57% erreicht. Bei Testkondition B reagierten nur 22% der getesteten Spinnen auf den präsentierten Reiz. Der Unterschied ist hoch signifikant (A: $n(\text{reaction})=34$, $n(\text{no reaction})=26$, B: $n(\text{reaction})=13$, $n(\text{no reaction})=13$; $\chi^2=14,931$, $p=0,000$; aus Reithofer, 2014).

Erscheinen des Punktes am Bildschirm – Latenzzeit

In den verschiedenen Testkonditionen A und B zeigen sich signifikante Unterschiede in den Latenzzeiten bis zur ersten Reaktion (Abb. 30).

Ist der Punkt komplett sichtbar und beginnt sich zu bewegen (B), so reagierten die Tiere frühestens nach 279 s auf den Punkt, wobei bereits nach 59,95s in Testkondition A eine Reaktion ausgelöst wurde. Die medianen Latenzzeiten betragen 221s in Testsituation A und 519s in Testsituation B (Abb. 30).

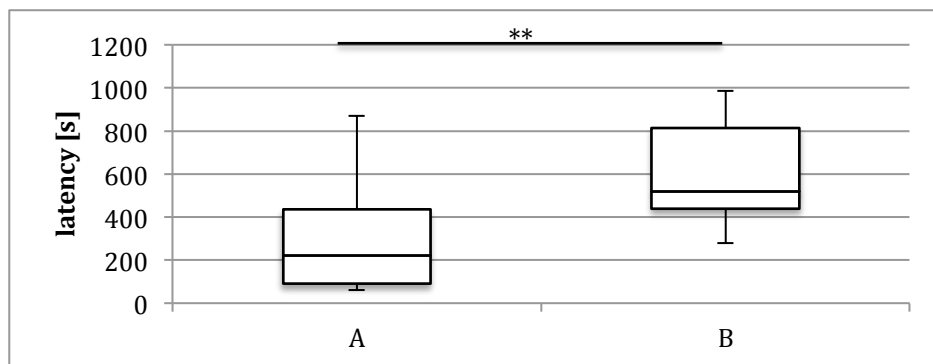


Abbildung 30, Latenzzeiten in Testkondition A und B. Die Reaktionszeiten auf den sichtbaren (B) und den in den Bildschirm bewegten Punkt unterscheiden sich signifikant ($n(A)=34$, $n(B)=13$, $W=704,00$, $p=0,017$; aus Reithofer, 2014).

3.3.3 Diskussion

In dieser Studie konnte festgestellt werden, dass *C. salei* auf langsam und schnell bewegende Reize unterschiedlich reagiert.

Besonders auffällig sind dabei die Differenzen in den Reaktionsraten. Das visuelle System von *C. salei* scheint bei Geschwindigkeiten von über 81,9°/s an seine Grenzen zu stoßen. Bei dieser Geschwindigkeit lag die Reaktionsrate bei nur 2%. Ist ein Objekt schneller, so ändert sich das Bild auf der Retina zu schnell und der Reiz kann nicht mehr von den Sinneszellen in der Retina aufgenommen werden.

Wird die Geschwindigkeit des visuellen Reizes verlangsamt, so zeigt die Spinne mehr Reaktionen. Die höchste Reaktionsrate wurde bei einer Geschwindigkeit von 0,49°/s erreicht. 75% der getesteten Spinnen reagierten bei dieser Geschwindigkeit auf den Stimulus. Vorstudien, die sich mit der Größe des Reizes beschäftigten, erreichten eine Reaktionsrate von 65% bei einer Geschwindigkeit von 56°/s und einer Punktgröße von 15° (Lindner, 2013).

Bei noch langsameren Geschwindigkeiten sinkt zwar die Reaktionsrate wieder, jedoch konnte das untere Limit des visuellen Systems nicht gefunden werden. Bei einer Geschwindigkeit von 0,013°/s reagierten noch immer mehr als 30% der Tiere. Eine mögliche Erklärung dafür ist die Punktgröße. Der 15° große Punkt entspricht in etwa der Größe der Spinne selbst. Durch diese Größe ist es möglich, dass der Punkt nicht nur als mögliche Beute, sondern auch als ein sich anschleichender Feind interpretiert wurde. Die Spinnen zeigten bei den langsamen Geschwindigkeiten vor allem Droh- und Orientierungsverhalten, die durchaus weniger aggressiv sind als Verfolgungen und Attacken (Forster, 1977). Foster beschrieb drei Verhaltensweisen für den Beutefang bei Springspinnen (Salticidae). Orientierung, Verfolgung und Attacken wurden dabei ähnlich charakterisiert wie in dieser Arbeit. Orientierungsverhalten war eine häufig gezeigte Verhaltensweise. Durch die Änderung der Körperposition erhält die Spinne ein besseres Sichtfeld auf den Stimulus. Mögliche Beute kann in der freien Natur dadurch besser beobachtet werden, ohne den Ort zu ändern und dadurch für mögliche Feinde sichtbar zu werden. Dieses nicht-aggressive Verhalten kann zu verschiedenen anderen Verhaltensweisen wie Flucht, Paarungs- oder auch Beutefangverhalten führen (Forster, 1977).

Am häufigsten wurde in jedem Geschwindigkeitstest Verfolgungsverhalten gezeigt. Dies und das häufig gezeigte Orientierungsverhalten ist typisch für einen Lauerjäger wie *C. salei*. Beute kann durch diese Verhaltensweisen

beobachtet und anschließend schnell attackiert werden, ohne selbst dabei Beute zu werden.

Je schneller sich der Punkt bewegte, desto mehr Orientierungsverhalten wurde als erste Reaktion gezeigt. Möglicherweise war der Punkt zu schnell, sodass die Spinne den Reiz wahrnahm, jedoch noch nicht als Beute identifizieren konnte. Somit ist das anfänglich gezeigte Orientierungsverhalten nötig, um die mögliche Beute besser beobachten zu können, da es sich in freier Natur auch um einen Feind handeln könnte vor dem im Notfall die Flucht ergriffen werden muss. Durch eine Orientierung zum Stimulus und weitere Beobachtungen können neue Informationen gesammelt und analysiert werden. Wird der Reiz als Beute identifiziert ist die Spinne weiters in einer perfekten Körperposition, um ihn zu attackieren.

In den Kontrollversuchen, wo ein stationärer Punkt gezeigt wurde, der sich anschließend langsam nach oben bewegte, zeigten die Tiere keine Attacken und kein Drohverhalten. Der Punkt wurde bestimmt wahrgenommen, da Orientierungsverhalten gezeigt wurde. Jedoch reagierten sie nur mit nicht-aggressiven Verhaltensweisen darauf. Weiters ist die Reaktionsrate auf den stationären Punkt mit 13,6% signifikant geringer, als bei Punkten, die sich in den Bildschirm bewegten. Diese Ergebnisse lassen die Vermutung zu, dass bei langsamen Geschwindigkeiten der Punkt als Feind und nicht als Beute wahrgenommen wurde.

Generell muss nochmals darauf hingewiesen werden, dass aufgrund der unterschiedlichen Geschwindigkeiten die Präsentationsdauer des Stimulus stark variiert. Diese Einflussmöglichkeit auf das Verhalten der Spinne lies sich mit dem gegebenen Setup leider nicht vermeiden. Diese Variationen sind somit auch ein Grund für die starken Differenzen in den Latenzzeiten. Je langsamer sich ein Punkt bewegt, desto länger ist die Latenzzeit von *C. salei* bis zur ersten Reaktion. Dies kann wiederum mit der Lebensweise von *C. salei* erklärt werden. Je langsamer sich eine Beute bewegt, desto mehr Zeit hat *C. salei* für mögliche Beobachtungen und kann eine präferierte Position einnehmen um anschließend eine erfolgreiche Attacke durchzuführen. Bewegt sich eine Beute jedoch sehr schnell, so muss auch die Attacke der Spinne sehr schnell erfolgen

und es bleibt keine Zeit für Orientierungen und Verfolgungen, da ansonsten die Beute entkommen kann.

Die meisten Reaktionen bei den schnellen Geschwindigkeiten wurden gezeigt, wenn sich der Stimulus bereits im oberen Drittel des Bildschirms befand. Dieses Resultat unterstreicht ebenfalls die Lauerjäger-Strategie und die schlechte Wahrnehmung von sehr schnell bewegenden Objekten.

Während der Test mit den niedrigeren Geschwindigkeiten wurde beobachtet, dass die Tiere sehr oft auf den Reiz reagierten, wenn dieser am unteren Rand des Bildschirms sichtbar wurde. Die Vermutung entstand, dass das Hineingleiten des Punktes in den Bildschirm ein möglicher Auslöser für Beutefangverhalten ist. Um diesen Faktor auszuschließen, wurde in Testkondition A und B unterschieden. Der Punkt in Testsituation A simuliert eine zuerst nicht sichtbare Beute, die sich sehr langsam in das visuelle Feld der Spinne bewegt. In Testsituation B ist die Beute bereits im visuellen Feld und beginnt sich nach einiger Zeit mit der gleichen Geschwindigkeit wie in Testsituation A zu bewegen. Die Ergebnisse lassen die Behauptung zu, dass Objekte, die sich in das visuelle Feld von *C. salei* bewegen, signifikant schneller und öfter attackiert werden, als sichtbare stationäre Objekte, die sich beginnen zu bewegen.

Mehr als 70% Attacken wurden gezeigt, wenn sich der Punkt im mittleren bzw. oberen Bereich des Bildschirms befand. Möglicherweise ist eine Attacke von *C. salei* am erfolgreichsten, wenn sich die Beute horizontal zur Spinne befindet. Beute bewegt sich im visuellen Feld der Spinne und diese wartet bis sie die Position mit der höchsten Erfolgswahrscheinlichkeit erreicht hat. Dazu ist nicht nur ein Erkennen der Beute, sondern auch eine Distanzwahrnehmung durch das visuelle System der Spinne notwendig.

C. salei ernährt sich in freier Natur unter anderen von Schaben, Grillen, Faltern und auch kleinen Amphibien wie Frösche (Barth und Seyfarth, 1979). Diese Tiere sind jedoch nicht so groß wie der präsentierte Stimulus, der hohe Reaktionsraten ausgelöst hat. Man würde vermuten, dass ein zu großer Stimulus nicht attackiert wird, weil er als Feind wahrgenommen wird und die Spinne eine passive Rolle einnimmt, was genau ein gegenteiliges Verhalten

auslösen hätte müssen. Eine mögliche Erklärung, warum *C. saiei* auf derart große Reize reagiert, könnte die hohe Motivation auf energiereiche Beute sein. Um darüber jedoch eine datenfundierte Aussage zu treffen, müssen sich weitere Studien dieser Frage widmen.

4 Die Spinne im Österreichischen Lehrplan

4.1 Gliederung des Lehrplanes

Der österreichische Lehrplan für die AHS Unterstufe ist in drei Themenbereiche gegliedert. Diese Bereiche sind Mensch und Gesundheit, Tiere und Pflanzen und Ökologie und Umwelt. Sie dienen in allen vier Jahren zur Strukturierung und sollen mit den verschiedensten Lehreinheiten behandelt werden (Lehrplan der AHS Unterstufe, 2000).

In der AHS Oberstufe sind die Themenschwerpunkte Mensch und Gesundheit und Ökologie und Umwelt weiterhin vertreten und werden durch die Bereiche Weltverständnis und Naturerkenntnis und Biologie und Produktion erweitert (Lehrplan der AHS Oberstufe, 2000).

4.2 Unterstufe

Neben fachlichen Vorgaben sind auch didaktische Ziele im Lehrplan festgehalten. Einer der bedeutendsten didaktischen Grundsätze im Bezug auf das Thema Spinnen ist die Aufforderung zum selbstständigen Arbeiten und zur Anwendung von Beobachten, Vergleichen und dem Arbeiten mit Hilfsmitteln, wie Lupe, Mikroskop und Fachliteratur (Lehrplan der AHS Unterstufe, 2000). Besonders hervorgehoben wird auch die Forderung Naturbegegnungen durch Exkursionen und Freilandarbeit zu ermöglichen. SchülerInnen sollen einfache Experimente selbst durchführen und Ergebnisse analysieren und interpretieren können (Lehrplan der AHS Unterstufe, 2000).

Das Thema „Spinnen“ ist dabei im Themenschwerpunkt „Tiere und Pflanzen“ verankert. In diesem Bereich sollen heimische und für bestimmte Ökosysteme typische Tiere und Pflanzen besprochen und erarbeitet werden. Dabei sollen jene Ökosysteme herangezogen werden, die auch im Themenbereich Ökologie und Umwelt behandelt werden, um eine Vernetzung der Themenbereiche herzustellen (Lehrplan der AHS Unterstufe, 2000). Weiters sollen Organismen bevorzugt werden, die eine besondere Bedeutung für den Menschen haben.

Die Vielfalt der Organismen, aber auch die Charakteristika verschiedener Tiergruppen mit ihren verwandtschaftlichen Beziehungen sind ein weiterer Aspekt dieses Bereiches, in dem das Thema „Spinnen“ die meisten Bezüge findet.

In der zweiten Klasse Unterstufe bilden Wirbellose einen besonderen Schwerpunkt im Themenbereich Tiere und Pflanzen, wodurch hier die Erarbeitung der Spinne besonders passend ist. Im Lehrplan ist explizit festgehalten, dass ein besonderes Augenmerk auf Zusammenhänge zwischen Bau, Lebensweise und Umwelt dieser Organismen gelegt werden soll (Lehrplan der AHS Unterstufe, 2000).

4.3 Oberstufe

In der Oberstufe ist neben dem menschlichen Körper und einem nachhaltigen Umweltbewusstsein, auch die moderne Biologie ein zentrales Thema des Lehrplanes. SchülerInnen sollen Einblicke in biologische Forschung und die modernen Biowissenschaften erlangen (Lehrplan der AHS Oberstufe, 2000). Sie sollen dabei die naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweise vermittelt bekommen und diese auch selbst anwenden können.

In den didaktischen Grundsätzen ist dies ebenfalls verankert. Explizit wird dargelegt, dass naturwissenschaftliches Denken und experimentelles Vorgehen initiiert werden soll und dass die methodische Vielfalt der Biologie, die Experimente, Freilandarbeiten und Forschungsprojekte beinhaltet, im Unterricht angewendet werden soll (Lehrplan der AHS Oberstufe, 2000).

Das Thema Spinne lässt sich mit dem beschriebenen Versuch aus dem Bereich der Neurobiologie vor allem im Themenschwerpunkt Weltverständnis und Naturerkenntnis bearbeiten.

In der fünften Klasse der AHS Oberstufe sollen anhand von Mikroorganismen, Pflanzen und Tieren Zusammenhänge von Bau und Funktion der Organsysteme bearbeitet werden. Besonderes Augenmerk ist dabei auf den Stoffwechsel zu legen. Hier kann als ein Tiermodell die Spinne dienen. In der sechsten Klasse wird im Themenschwerpunkt Weltverständnis und Naturerkenntnis das Nervensystem behandelt. Moderne Hirnforschung aber

auch ein Überblick über Verhaltensforschung ist den SchülerInnen zu vermitteln (Lehrplan der AHS Oberstufe, 2000). Wieder kann der vorgestellte Versuch exemplarisch verwendet werden. Besonders bei der Entwicklung des Sinnesorgans Auge können *C. salei* und andere Spinnenvertreter als Modelle mit anderen tierischen Augentypen verglichen werden. Weiterer Kernbereich der 6.Klasse AHS ist die Verhaltensbiologie. In diesem Themenbereich kann der vorgestellte Versuch behandelt werden und dient als Vorlage für andere Forschungsfragen. SchülerInnen sollen dabei aufgefordert werden Hypothesen zu erstellen und Forschungspläne inklusive Versuchsaufbauten aufgrund dieser Hypothesen zu erstellen.

Besonders interessant ist der vorgestellte Versuch auch für Lehreinheiten in einem Wahlpflichtfach, in dem sich besonders interessierte SchülerInnen mit biologischen Arbeitsweisen näher beschäftigen und ihr fachliches Wissen und praktische Fertigkeiten verfeinern.

5 Unterrichtsvorschläge

5.1 Unterrichtsvorschlag für die Unterstufe

Mit einem Stationenbetrieb sollen die SchülerInnen selbstständig forschend arbeiten und auf unterschiedliche Weisen verschiedene Fakten über das Thema Spinnen erlernen. Der Stationenbetrieb richtet sich nach dem Kompetenzmodell für Naturwissenschaften der 8. Schulstufe des BIFIE Österreichs. In den folgenden Erläuterungen zu den Stationen werden die Lehr- und Lernziele demnach festgehalten. Das Material wird anschließend präsentiert.

5.1.1 Stationenübersicht und Lehrziele

Station 1: äußere Anatomie einer Spinne

Material: Arbeitsblatt

Arbeitsauftrag: Begriffe aus einem Text auf eine Skizze übertragen.

Kompetenzen: W1, N1, B3

Lehrziele:

- SchülerInnen können den äußeren Körperbau einer Spinne beschreiben.
- SchülerInnen können sowohl deutsche als auch lateinische Fachbegriffe zu Körperteilen einer Spinne nennen.
- SchülerInnen können typische Merkmale (8 Beine, 8 Augen, Körpergliederung,...) nennen.

Station 2: Die Verwandtschaft. Spinnen sind Spinnentiere, nicht Insekten!

Material: Arbeitsblatt, Anschauungsmaterial lebend und Fotos, Lupen, Binokular, Federpinzetten

Kompetenzen: E2, N2-N3, B3

Lehrziele:

- SchülerInnen können mit einem Binokular, einer Lupe... und weiteren Hilfsmitteln Tiere untersuchen und beobachten.

- SchülerInnen können mindestens fünf Unterschiede von Spinnentieren zu Insekten nennen und mindestens drei Ordnungen und drei gemeinsame Merkmale von Spinnentieren aufzählen.
- SchülerInnen können gegebene Fakten zur Verwandtschaft der Spinnen in einem Stammbaum darstellen, die Begriffe Stamm, Klasse, Ordnung, Gattung und Art unterscheiden und Spinnen richtig einordnen.

Station 3: heimische Spinnen

Material: Zeichenblatt und Bleistift, Steckbriefe heimischer Spinnen

Kompetenzen: W1, N2, B3

Lehrziele:

- SchülerInnen erkennen anhand typischer Merkmale heimische Spinnenarten und können diese Merkmale benennen.
- SchülerInnen können den Dornfinger und die Gartenkreuzspinnen als wenig gefährliche Spinnen Österreichs nennen.
- SchülerInnen können Besonderheiten in Lebensräumen und Netze heimischer Spinnen beschreiben.

Station 4: Spinnen-Memory

Material: Memory-Karten

Kompetenzen: W1, N1, B3

Lehrziele:

- SchülerInnen erkennen anhand typischer Merkmale heimische Spinnenarten und können diese Merkmale benennen.

Station 5: Innere Anatomie

Material: Arbeitsblatt, PC, Smartphone, Biologie-Buch

Kompetenzen: W2, N3, B3

Lehrziele:

- SchülerInnen können Innere Organe und ihre Funktion benennen und erkennen.
- SchülerInnen können die Funktion von Röhrentracheen und einer Buchlung beschreiben und den Begriff Ganglion erklären.

Station 6: Entwicklung

Material: Arbeitsblätter, Schere, Kleber

Kompetenzen: W1, N1, B3

Lehrziele:

- SchülerInnen können Merkmale der verschiedenen Entwicklungsstadien einer Spinne nennen bzw. Merkmale und Eigenschaften verschiedenen Entwicklungsstadien zuordnen.
- SchülerInnen können den Fachbegriff „Exuvie“ erklären und den Vorgang einer Häutung beschreiben.

Station 7: Netzbau einer Radnetzspinne

Material: Arbeitsblatt, PC oder Smartphone, Karton, Stecknadeln, Nähnadel und Faden

Kompetenzen: W2, N2, B3

Lehrziele:

- SchülerInnen können Elemente von Spinnennetzen beschreiben und zuordnen.
- SchülerInnen machen die Erfahrung, wie aufwendig der Bau eines Spinnennetzes ist.

Station 8: Lernkärtchen

Material: Lernkärtchen, Wäscheklammer

Wiederholungsstation: Die SchülerInnen wiederholen spielerisch das Gelernte zur Phylogenie und zum Körperbau von Spinnen

Station 9: Spinnen-Activity

Material: Spielplan, Kegel, Spinnen-Activity-Karten

Wiederholungsstation: Die SchülerInnen wiederholen spielerisch das Gelernte zur Phylogenie und zum Körperbau von Spinnen

5.1.2 Arbeitsaufträge und Material für die Unterstufe

Arbeitsauftrag:

Lies dir den Text genau durch und beschrifte die Abbildungen mit den fettgedruckten Begriffen im Text. Achtung: manche Begriffe benötigst du doppelt!

Der Körperbau einer Spinne

Der Körper einer Spinne wird in einen **Vorderkörper (Prosoma, Cephalothorax)** und einen **Hinterkörper (Opisthosoma, Abdomen)**.

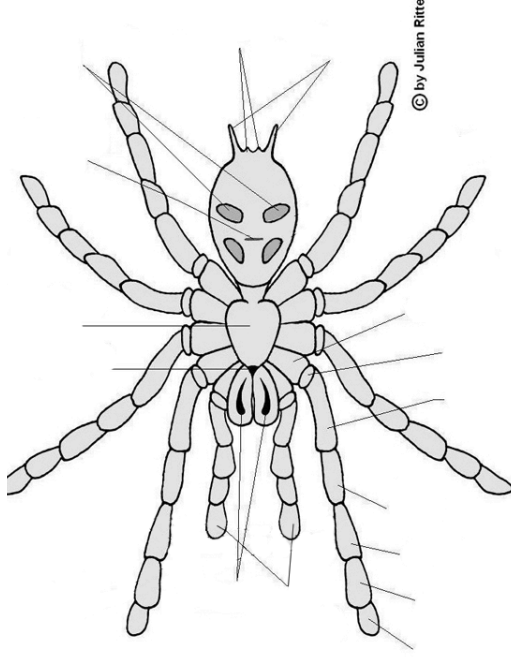
Auf der Unterseite einer Spinne erkennt man am Prosoma das **Brustbein**. Dort setzen die **4 Laufbeinpaare** an. Eine Spinne hat somit stets 8 Beine. Die Beine sind gegliedert und bestehen aus 7 Gliedern, wodurch Spinnen zum Stamm der Gliederfüßer zählen. Die **Hüfte** ist die Verbindung zum Brustbein. Die weiteren heißen –fast wie beim Menschen- **Schenkelring, Schenkel, Knie, Schiene, Mittelfuß und Fuß**. Die Beine sind meist mit vielen Sinneshaaren besetzt.

Am Prosoma befinden sich weiters die beiden **Pedipalpen (Kiefertaster)**. Die Pedipalpen sind kürzer als die Laufbeine und aus 6 Gliedern aufgebaut. Sie dienen nicht der Fortbewegung wie die Laufbeine sondern als Tastsinnesorgane. Für das Festhalten und Abtasten von Beute sind sie sehr wichtig. Die beiden **Cheliceren (Giftklauen, Kieferklauen)** und sind die vordersten Gliedmaßen einer Spinne. In den Giftzahn, dem vordersten Glied einer Cheliceren, münden die Giftdrüsen, in denen Gift produziert wird, durch das Beute bei einem Biss gelähmt oder getötet wird. Die Cheliceren sind Ruhestellung nach unten eingeklappt. Unter den Cheliceren befindet sich die **Mundöffnung**.

Eine Spinne besitzt meist 8 Punktaugen. Es können auch weniger sein. Man nennt Punktaugen auch **Ocellen**.

Am hinteren Ende des Opisthosomas befinden sich die **großen** und **kleinen Spinnwarzen**. Sie sind die Ausführgänge der Spinnndrüsen, in denen die Spinnseide für die Fangnetze produziert wird. Weiters erkennt man auf der Unterseite des Opisthosomas die schlitzförmige **Genitalöffnung**. Rund um die Genitalöffnung befinden sich die **zwei Paar Bluthlungenöffnungen**. Durch diese Öffnungen gelangt Luft in die Lunge der Spinne, wo der Sauerstoff an eine blutähnliche Flüssigkeit abgegeben wird. Spinnen besitzen auch Tracheen. Tracheen sind Röhren, die den Sauerstoff direkt an die Zellen im Körper leiten.

Name:



© by Julian Ritter

Die Verwandtschaft. Warum ist eine Spinne kein Insekt, sondern ein Spinnentier?

Arbeitsauftrag 1:

Untersuche mithilfe des Lebendmaterials und den Bildern die Unterschiede im Körperbau von Spinnen zu Insekten und die Gemeinsamkeiten von Spinnentieren. Vervollständige die Tabelle!

	Spinnen	Insekten
Körpergliederung		
Anzahl der Beine		
Anzahl/Anordnung der Augen		
Flügel? Fühler? Wenn ja, wieviele?		
Körperanhänge am Kopfabschnitt		
Findest du weitere Unterschiede?		

Zähle mind. 3 Spinnentiere auf! Welche Gemeinsamkeiten findest du bei Spinnentieren? Nenne so viele wie möglich, jedoch mindestens 3!

Arbeitsauftrag 2:

Lies dir den Text über den Stammbaum von Spinnen genau durch und fülle anschließend den abgebildeten Stammbaum fertig aus!

Der Stammbaum. Ein System um Lebewesen nach Verwandtschaft zu ordnen.

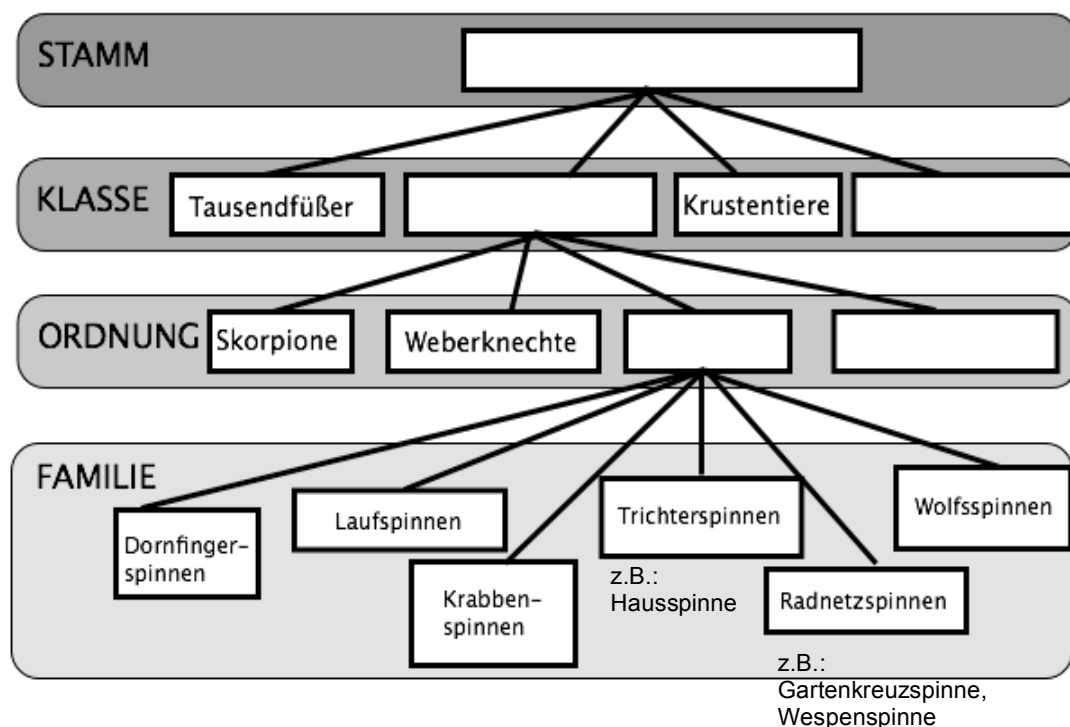
Um im Tierreich nicht den Überblick über die Verwandtschaft der verschiedenen Tiere zu verlieren, **ordnet man die Tiere nach Merkmalen** verschiedenen Gruppen zu.

Spinnen gehören in die **Klasse der Spinnentiere (Arachniden)** und zählen zum **Stamm der Gliederfüßer (Arthropoda)**. In diesem Stamm werden verschiedene Klassen von Tieren zusammengefasst, deren Körper aus mehreren Teilstücken (Segmenten) bestehen und deren Beinen aus Gelenken aufgebaut sind. Weitere Klassen der Gliederfüßer sind etwa auch Insekten, Krebse oder Hundert- und Tausendfüßer.

Innerhalb der Klasse Spinnentiere unterscheidet man dann die Ordnungen Skorpione, Weberknechte, Milben, Webspinnen und noch anderen Ordnungen.

Wenn wir von Spinnen sprechen so meinen wir meist die Ordnung der **echten Webspinnen (Araneae)**. Zu dieser Ordnung gehören viele Spinnenfamilien, etwa die Radnetzspinnen, Trichternetzspinnen, oder Wolfsspinnen. Danach teilt man die Familien noch in Gattungen und schließlich in Arten ein.

In der lateinischen Fachsprache besteht jeder Name einer Art aus dem Gattungs- und Artname. Etwa heißt die Gartenkreuzspinne *Araneus diadematus* oder die Hausspinne *Tegenaria ferruginea*.



Arbeitsauftrag:

Lies dir die **Steckbriefe** zu den heimischen Spinnenarten genau durch und versuche dir **wichtige Merkmale** der Spinnen zu merken, sodass du diese **wiedererkennen** kannst.

Wähle anschließend eine oder zwei Spinnen aus, die dir besonders gut gefallen und hole dir ein Zeichenblatt. Fertige eine Übersichtszeichnung und eine Detailzeichnung eines bestimmten Merkmals, das für diese Spinne typisch ist (Augenanordnung, Zeichnung, Beinstellung...), an!

Gib die Zeichnung anschließend in deine Mappe!

Gemeine Baldachinspinne (*Linyphia triangularis*)

Fam. Baldachinspinnen

Größe	6-7mm, Weibchen sind kräftiger (Opisthosoma)
Vorderkörper	Beine und Vorderkörper braun-gelblich schwarze Gabel-Zeichnung am Vorderkörper Unterseite dunkelbraun-schwarz
Hinterkörper	Weibchen: Hinterleib helle Grundfärbung, seitlich dunkler, dunkle Zick-Zack-Zeichnung am Hinterleib Männchen: keine Zick-Zack-Zeichnung
Augen	8 Augen in zwei Querreihen
Lebensraum	Wiesen und Waldrändern; feucht, nicht zu hell
Netze	weite, zum Boden parallele Netze kein typisches Muster wie bei Radnetzspinnen Die Spinne hängt immer mit dem Rücken nach unten am Netz
für den Menschen gefährlich?	nein

(Bellmann, 2010)



Abbildung 33, Ein Weibchen der Gemeinen Baldachinspinne mit Beute. (Andreas Eichler, 2012, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2012.10.20-17-Mannheim_Vogelstang--Baldachinspinne-Linyphia_Triangularis-Weibchen.jpg, Download am 25.8.2016)

Dornfinger (*Cheiracanthium punctorium*)

Fam. Sackspinnen

Größe	M: 12mm, W: 16 mm, eine der größte ihrer Familie
Vorderkörper	glänzend gelblich, grünlich, orange Cheliceren orange-rot mit schwarzen Spitzen
Hinterkörper	gelblich-grün gefärbt
Augen	8 Augen, halbkreisförmig in zwei Reihen
Lebensraum	trockene, warme Gebiete; sonnige Trockenwiesen
Netze	taubeneigroßer Gespinstsack zwischen Gräsern
Häufigkeit	selten, aus dem Mittelmeerraum eingewandert
für den Menschen gefährlich?	ja, giftig! Lähmungserscheinungen und starke Schmerzen können über Wochen anhalten

(Bellmann, 2010)



Abbildung 34, Dornfinger-Weibchen im Netz. (Rainer Altenkamp, 2014, GNU Free 1.2, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cheiracanthium_punctorium_070916.jpg?uselang=de, Download am 25.8.2016)

Eichblatt-Radnetzspinne (*Aculepeira ceropegia*)

Fam. Radnetzspinnen

Größe	M: 10mm, W: 16 mm, eine der größte ihrer Familie
Vorderkörper	Vorderkörper hell behaart gestreifte Beine
Hinterkörper	schmal und hoch, nach hinten zugespitzt weiß-gelbliche Grundfarbe typische Eichblatt-Zeichnung mit schwarz grünen Linien
Lebensraum	sonniges Gelände, Feucht- und Trockenwiesen
Netze	zwischen größeren Pflanzen, die Spinne sitzt aber meist in einem Versteck
Häufigkeit	in ganz Europa häufig, besonders im Bergland
für den Menschen gefährlich?	nein!

(Bellmann, 2010)



Abbildung 35, Eichblatt-Radnetzspinne auf einem Blatt. (Hans, 2011, CC0 Public Domain, <https://pixabay.com/de/eichblatt-radspinne-9259/>; Download am 25.8.2016)

Hausspinne = Große Winkelspinne (*Tegenaria atrica*)

Fam. Trichterspinnen

Größe	M: 12-15 mm, W: fast 20 mm
Vorderkörper	Vorderkörper schmal, braun mit zwei dunklen Längsstreifen, behaart sehr lange grau-braune Beine
Hinterkörper	hellbraun mit dunkler Zeichnung stark behaart
Augen	alle gleich groß, in zwei Reihen angeordnet
Lebensraum	sonniges Gelände, Feucht- und Trockenwiesen
Netze	Trichternetz mit Wohnröhre W bleiben im Netz, M oft auf der Suche nach Weibchen (Badewannen, Waschbecken!)
Häufigkeit	in ganz Mitteleuropa häufig in Gebäuden, Höhlen, zwischen Steinen
für den Menschen gefährlich?	nein!

(Bellmann, 2010)



Abbildung 36, Männchen der Großen Winkelspinne. (Kurt Kulac, 2007, CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tegenaria_atrica_male01.jpg, Download am 25.8.2016)

Gartenkreuzspinne (*Araneus diadematus*)

Fam. Radnetzspinnen

Größe	M: bis 10 mm, W: bis 18 mm
Vorderkörper	Grundton hellbraun-schwarz Beine gestreift
Hinterkörper	deutlich schlanker als Vierfleck-Kreuzspinne am vorderen Hinterkörper Kreuz aus insgesamt 5 Flecken: 4 längliche, 1 runder in der Mitte
Lebensraum	halbschattige Plätze wie Waldrändern, hoch bewachsene Wiesen und Gärten
Netze	kreisrund bis 50 cm, eng geflochten Spinne sitzt in der Mitte des Netzes, verlässt es selten
Häufigkeit	in ganz Mitteleuropa häufig
für den Menschen gefährlich?	leicht giftig ein Biss ist ähnlich eines Bienenstiches.

(Bellmann, 2010)



Abbildung 37, Gartenkreuzspinne im Netz. (Friedrich Bohringer, 2008, CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gartenkreuzspinne_Araneus_diadematus_0.JPG, Download am 25.8.2016)

Kürbisspinne (*Araniella cucurbitina*)

Fam. Radnetzspinnen

Größe	M: bis 5 mm, W: bis 10 mm eine der kleinsten Radnetzspinnen
Vorderkörper	intensiver gelb-bräunlicher Grundton
Hinterkörper	leuchtend grün seitlich zwei Reihen von 4 kleinen schwarzen Punkten
Lebensraum	Waldrändern und Lichtungen
Netze	klein, oft nur 10cm Durchmesser mit etwa 30 Radien direkt über Blätter und Blüten sitzt mitten im Netz (Tarnung!)
Häufigkeit	in ganz Europa häufig
für den Menschen gefährlich?	nein!

(Bellmann, 2010)



Abbildung 38, Kürbisspinne. (NobbiP, 2015, GNU Free 1.2,
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kürbisspinne_Araniella_4370.jpg?uselang=de, Download am 25.8.2016)

Steckbrief

Vierfleck-Kreuzspinne (*Araneus quadratus*)

Fam. Radnetzspinnen

Größe	M: bis 8 mm, W: bis 2,5 cm schwerste Kreuzspinnenart in Österreich
Vorderkörper	variable Färbung von rot bis hell Beine gestreift
Hinterkörper	extrem massig Färbung variabel: von rot bis ganz hell möglich Zeichnung jedoch typisch: 4 große helle Flecken, die trapezförmig zusammenlaufen
Lebensraum	offene, feuchte Wiesen
Netze	knapp über dem Erdboden, aber auch bis zu 1m Höhe zwischen Büschen großes Netz mit einem Durchmesser von oft 1m, Spinne in Versteck
Häufigkeit	in ganz Europa häufig
für den Menschen gefährlich?	nein!

(Bellmann, 2010)



Abbildung 39, Vierfleck-Kreuzspinne auf Pflanze. (H. Krisp, 2011, CC BY-SA 2.5, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vierfleckkreuzspinne-Araneus-quadratus.jpg>, Download am 25.8.2016)

braune Kugelspinne (*Theridion impressum*)

Fam. Kugelspinnen

Größe	klein, aber auffällig M: 2-4 mm, W: 3-5mm
Vorderkörper	hellbraune Färbung mit dunklen Längsstreifen und seitlichen schwarzen Längsstreifen
Hinterkörper	hellbraune Grundfärbung mit unregelmäßiger Zeichnung in dunkelbraun, weiß, schwarz und rot
Lebensraum	Trockenrasen und Ödland, benötigt Wärme
Netze	Haubennetze an der Spitze kleiner Pflanzen
Häufigkeit	häufig; Kugelspinnen ist eine der artenreichste Familie in Europa
für den Menschen gefährlich?	nein! giftiger Vertreter der Kugelspinnen: Schwarze Witwe – Sie kommt in Österreich aber nicht vor!

(Bellmann, 2010)



Abbildung 40, Braune Kugelspinne auf einem Blatt. (Sanja565658, 2008, GNU Free 1.2, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Theridion_impressum_01.JPG?uselang=de, Download am 25.8.2016)



Abbildung 41, Schwarze Witwe in Kroatien. (Kork-commonswiki, 2005, Public Domain, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Latrodectus_tredecimnotatus_female.jpg, Download am 25.8.2016)

grüne (grün-braune) Krabbenspinne (*Diaea dorsata*)

Fam. Krabbenspinnen

Größe	M: 4-5mm, W: 6-7mm
Vorderkörper	leuchtend grüne Färbung auch die Beine sind leuchtend grün Die Vorderbeine sind extrem weit seitlich gestellt (→ erinnert an eine Krabbe)
Hinterkörper	flach und eiförmig geformt weiß-gelbe Grundfärbung mit breiter, brauner, blattartiger Zeichnung mit hellen Flecken kurze hellbraune Haare
Augen	weiß umrandet
Lebensraum	auf Blättern und Baumstämmen, in Waldnähe und Wegrändern, Teichbereichen (halbschattig-sonnig)
Netze	baut keine Netze → Lauerjäger
Häufigkeit	regelmäßig-häufig
für den Menschen gefährlich?	nein!



Abbildung 42, Grüne Krabbenspinne. (André Karwath, 2005, CC BY-SA 2.5, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diaea_dorsata_\(aka\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diaea_dorsata_(aka).jpg), Download am 25.8.2016)

Große Zitterspinne (*Pholcus phalangioides*)

Fam. Zitterspinnen

Größe	bis 1 cm
Vorderkörper	dünn und flach, braune Färbung extrem lange Beine (kein Weberknecht!)
Hinterkörper	dünn und flach, braune Färbung
Lebensraum	häufig in Gebäuden
Netze	unregelmäßige Netze im Deckenbereich
Häufigkeit	sehr häufig
Besonderheit	Weibchen betreiben Brutpflege! Sie umschnüren die Eier mit einem Faden und tragen den Kokon zwischen den Cheliceren.
für den Menschen gefährlich? (Bellmann, 2010)	nein!



Abbildung 43, Große Zitterspinne mit Brut. (Achim Müller, 2007, CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spinne_mit_Brut.jpg?uselang=de, Download am 26.8.2016)

Wolfsspinne (*Pardosa lugubris*)

Fam. Wolfsspinnen

Größe	M: bis 5mm, W: bis 7mm
Vorderkörper	dunkelbraune Färbung, leicht gefleckt Die Beine sind heller und gestreift
Hinterkörper	dunkelbraune Färbung, leicht gefleckt
Augen	8 Augen in 3 Reihen
Lebensraum	typische Bodenbewohner auf trockenen, besonnten Untergrund
Netze	bauen keine Fangnetze → Lauerjäger!
Häufigkeit	sehr häufig, tritt in Massen auf
Besonderheit	in Südeuropa mit den Taranteln verwandt
für den Menschen gefährlich? (Bellmann, 2010)	nein!



Abbildung 44, Adultes Männchen einer Wolfsspinne. (Michael Hohner, 2008, GNU Free 1.2, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pardosa_lugubris_adult_male.jpg, Download am 25.8.2016)

Abbildung 45, Augenordnung einer Wolfsspinne. (Opoterser, CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wolf_eyes_for_guide.jpg?uselang=de, Download am 25.8.2016)

Wespenspinne (*Argiope bruennichi*)

Fam. Radnetzspinnen

Größe	M: bis 6mm, W: bis 17mm
Vorderkörper	silbrig behaart Beine hell/dunkel gezeichnet
Hinterkörper	W: unverwechselbar durch die weiß-gelbe Grundfarbe mit schwarzer Bänderung (→ Wespe) M: unauffälliger gefärbt, hellbraun mit dunkler Zeichnung
Lebensraum	sonnige Standorte mit halbhoher Vegetation
Netze	senkrecht Radnetz in Bodennähe mit Zickzack-Band Spinne lauert im Zentrum des Netzes
Häufigkeit	weit verbreitet
für den Menschen gefährlich?	nein!

(Bellmann, 2010)



Abbildung 46, Weibchen einer Wespenspinne. (Andreas Eichler, 2013, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2013.08.02.-07-Kirschgartshaeuser_Schlaege_Mannheim-Wespenspinne-Weibchen.jpg, Download am 25.8.2016)

Gerandete Jagdspinne (*Dolomedes fimbriatus*)

Fam. Raubspinnen

Größe	W: bis 2,2cm und damit eine der größten Spinnen in Österreich
Vorderkörper	dunkel gefärbt; zwei helle, seitlich verlaufende Längsstreifen Beine heller
Hinterkörper	Dunkel gefärbt; zwei helle, seitlich verlaufende Längsstreifen (Verwechslungsgefahr mit Wolfsspinnen, diese sind aber kleiner und haben eine typische Augenstellung!)
Lebensraum	wassernahen Lebensräumen: Moore, Feuchtwiesen...
Netze	keine Fangnetze → Lauerjäger!
Häufigkeit	selten, Rote Liste!
Besonderheit	kann für kurze Zeit unter Wasser tauchen und sich wie Wasserläufer auf der Wasseroberfläche laufen
für den Menschen gefährlich?	nein!

(Bellmann, 2010)



Abbildung 47, Gerandete Jagdspinne auf der Wasseroberfläche. (Tragopogon, 2012, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dolomedes_fimbriatus_Teuffen.JPG, Download am 25.8.2016)

Busch- oder braune Krabbenspinne (*Xysticus cristatus*)

Fam. Krabbenispinnen

Größe	M: ca. 4mm W: ca. 8mm
Vorderkörper	dunkel-hellbraune Färbung, Beine mit dunklen Punkten und Streifen typische Beinstellung einer Krabbenspinne (Vorderbeine länger und kräftiger → Krabbenähnlicher Gang)
Hinterkörper	dunkel-hellbraune Grundfärbung und typische große, helle Blattzeichnung
Augen	2 große und 2 kleine Augen nach vorne gerichtet, 2 nach oben, 2 zur Seite
Lebensraum	sonnige Wiesen, helle Wälder oft auf bzw. versteckt unter Blüten
Netze	keine Fangnetze → Lauerjäger!
Häufigkeit	häufig
für den Menschen gefährlich?	nein!

(Bellmann, 2010)



Abbildung 48, Ein Weibchen der Braunen Krabbenspinne. (Andreas Eichler, 2014, CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2014.03.09.-17-Kaefertaler_Wald-Mannheim-Braune_Krabbenspinne-Weibchen.jpg, Download am 25.8.2016)

Laufspinne (*Philodromus dispar*)

Fam. Laufspinnen

Größe	4-5mm
Vorderkörper	dunkelbraune Färbung mit weißem Rand lange Beine mit dunklen Flecken flach und gestreckt
Hinterkörper	dunkelbraune Färbung mit weißem Rand flach und gestreckt M dunkler als W
Lebensraum	sonnige Wiesen, in Strauch- und Krautschicht oft auch an Hauswänden
Netze	keine Fangnetze → Jäger!
Besonderheit	bei Gefahr drücken sie sich flach auf den Boden
Häufigkeit	eher selten
für den Menschen gefährlich?	nein!

(Bellmann, 2010)



Abbildung 49, Laufspinne in Schreckstellung. (Sarefo, 2008, GNU Free 1.2, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Philodromus_aureolus_male.6.jpg, Download am 25.8.2016)

Schwarze Springspinne (*Evarcha arcuata*)

Fam. Springspinnen

Größe	M: etwa 6mm, W: 7mm
Vorderkörper	kurze verdickte Beine M: schwarz/dunkel gefärbt, stark behaart schwarz-weiß Zeichnung am Kopf W: grau-braun, ohne Kopfzeichnung
Hinterkörper	M: schwarz/dunkel gefärbt, stark behaart W: grau-braun
Lebensraum	Feuchtwiesen und nahe bei Gewässer, aber auch trockene Waldränder
Netze	nur W bauen Netze → spinnen vertrocknete Blätter ein
Häufigkeit	weitverbreitet, trotzdem findet man sie selten
für den Menschen gefährlich?	nein!

(Bellmann, 2010)



Abbildung 50, schwarze Springspinne auf einem Blatt. (Sarefo, 2007, GNU Free 1.2, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Evarcha.arcuata.male.1.jpg>, Download am 25.8.2016)

Station 4: Memory-Karten

Gemeine Baldachinspinne		1
Dornfinger		2
Eichblatt- Radnetzspinne		3
Hausspinne = Große Winkelspinne		4

1 Andreas Eichler, 2012, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2012.10.20-17-Mannheim_Vogelstang--Baldachinspinne-Linyphia_Triangularis-Weibchen.jpg, Download am 25.8.2016

2 Rainer Itenkamp, 2014, GNU Free 1.2, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cheiracanthium_punctatorium_070916.jpg?uselang=de, Download am 25.8.2016

3 Hans, 2011, CC0 Public Domain, <https://pixabay.com/de/eichblatt-radspinne-9259/>; Download am 25.8.2016

4 Kurt Kulac, 2007, CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tegenaria_atrica_male01.jpg, Download am 25.8.2016

Station 4: Memory-Karten

Gartenkreuzspinne	Kürbisspinne	Vierfleck-Kreuzspinne	braune Kugelspinne
5  Abbildung 55	 Abbildung 56 6	7  Abbildung 57	 Abbildung 58 8

5 Friedrich Bohringer, 2008, CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gartenkreuzspinne_Araneus_diadematus_0.JPG, Download am 25.8.2016

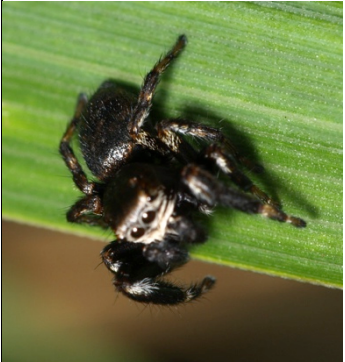
6 Nobbip, 2015, GNU Free 1.2, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kürbisspinne_Araniella_4370.jpg?uselang=de, Download am 25.8.2016

7 H. Krisp, 2011, CC BY-SA 2.5, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vierfleckkreuzspinne-Araneus-quadratus.jpg>, Download am 25.8.2016

8 Sanja565658, 2008, GNU Free 1.2, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Theridion_impressum_01.JPG?uselang=de, Download am 25.8.2016

grüne Krabbspinne	Große Zitterspinne	Wolfsspinne	Wespenspinne
 Abbildung 59 9	 Abbildung 60 10	 Abbildung 61 11	 Abbildung 62 12

9 André Karwath, 2005, CC BY-SA 2.5, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diaea_dorsata_\(aka\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diaea_dorsata_(aka).jpg), Download am 25.8.2016
10 Achim Müller, 2007, CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spinne_mit_Brut.jpg?uselang=de, Download am 26.8.2016
11 Michael Hohner, 2008, GNU Free 1.2, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pardosa_lugubris_adult_male.jpg, Download am 25.8.2016
12 Andreas Eichler, 2013, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2013.08.02.-07-Kirschgartshaeuser_Schlaege_Mannheim-Wespenspinne-Weibchen.jpg, Download am 25.8.2016

geränderte Jagdspinne	 Abbildung 63	13
Busch- oder braune Krabbenspinne	 Abbildung 64	14
Laufspinne	 Abbildung 65	15
Schwarze Springspinne	 Abbildung 66	16

13 Tragopogon, 2012, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dolomedes_fimbriatus_Teuffen.JPG, Download am 25.8.2016

14 Andreas Eichler, 2014, CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2014.03.09.-17-Kaefertaler_Wald-Mannheim-Braune_Krabbenspinne-Weibchen.jpg, Download am 25.8.2016

15 Sarefo, 2008, GNU Free 1.2, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Philodromus_aureolus.male.6.jpg, Download am 25.8.2016

16 Sarefo, 2007, GNU Free 1.2, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Evarcha_arcuata.male.1.jpg, Download am 25.8.2016

Arbeitsauftrag:

Verwende dein **Smartphone oder den PC im Klassenzimmer** um mit Informationen von Internetseiten das Arbeitsblatt zu bearbeiten.

Suche am Besten nach Stichworten wie „Innere Organe einer Spinne“, „Atmung der Spinne“, „Tracheenatmung“, „Buchlung einer Spinne“ „Gehirn einer Spinne“ oder besuche folgende Seiten:

<http://kiwithek.kidsweb.at/index.php/Spinne>

<http://tierdoku.com/index.php?title=Spinnen>

<http://www.tierchenwelt.de/tierleben/3055-atmung-tiere-tracheen.html>

1) Lage der Inneren Organe. Beschrifte die fehlenden Inneren Organe einer Spinne!

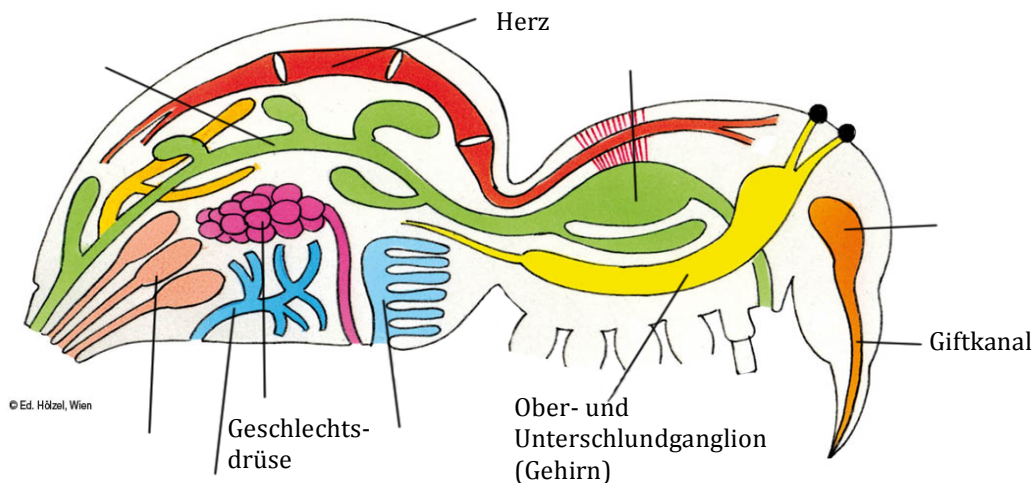


Abbildung 67, Innere Organe einer Spinne. (bearbeitet nach: Ed. Hoelzel, http://94.247.146.63/bgjh/vomleben2/kap5/85-2_Bauplan_der_Spinnen.jpg, Download am 24.8.2015)

2) Die Atmung. Vervollständige den Lückentext!

Spinnen besitzen zwei verschiedene Atmungsorgane. Neben _____ haben sie auch _____. Die Tracheen sind Röhren aus _____. Aus diesem harten Material ist auch der Panzer der Spinnen. Die Röhren verzweigen sich immer weiter und leiten den _____ direkt zu den Organen oder _____. Die Atemlöcher nennt man auch _____ und befinden sich bei Spinnen auf der Unterseite des _____.

Die vier _____ von Spinnen befindet sich ebenfalls im Opisthosoma und werden auch _____ genannt. Sie ähnelt nämlich aufgrund ihrer vielen feinen Blättern einem Buch oder einem Fächer. Der _____ wird dort in die Haemolymphe, der blutähnlichen Flüssigkeit der Spinne, aufgenommen und zum _____ transportiert. Von dort aus wird es durch den _____ gepumpt. _____ Haemolymphe gelangt zurück zur Lunge und wird wieder mit Sauerstoff angereichert.

Chitin	Buchlungen (2)	Tracheen	sauerstoffarme	Körper	Stigmen
Opisthosomas	Herzen	Fächerlunge	Muskeln	Sauerstoff (2)	

2) Das Gehirn. Beantworte die folgenden Fragen!

Was ist ein Ganglion? _____

Wie heißt das Gehirn einer Spinne und warum hat es diesen Namen? _____

Arbeitsauftrag:

Schneide die Bilder zu den verschiedenen Entwicklungsstadien einer Spinne aus und klebe sie richtig im vorgefertigten Kreislauf ein. Jedes Stadium ist mit Namen und drei Merkmalen zu beschriften. Beantworte anschließend die Fragen! Die nötigen Informationen sind aus der Tabelle und dem Text zu entnehmen!

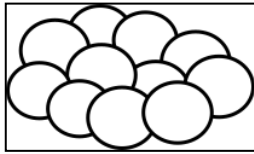


Abbildung 69. ©
Reithofer

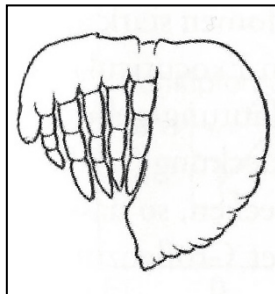


Abbildung 71. (aus Foelix, 2015)

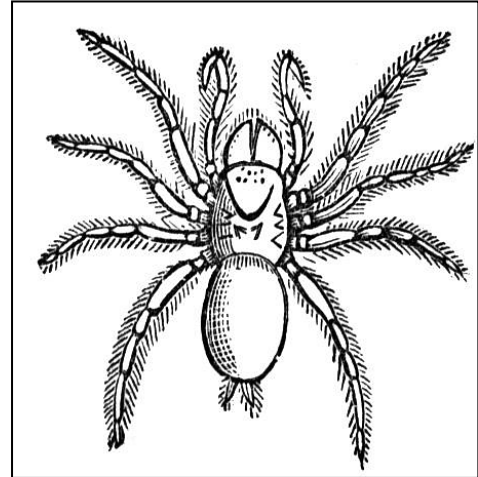


Abbildung 68. (painter, 2009,
[http://www.supercoloring.com/de/ausmalbilder/s
pinne-25](http://www.supercoloring.com/de/ausmalbilder/spinne-25), Download am 27.8.2016)



Abbildung 73. (bearbeitet nach
Chuck Evans, 2007, CC BY-SA 3.0)

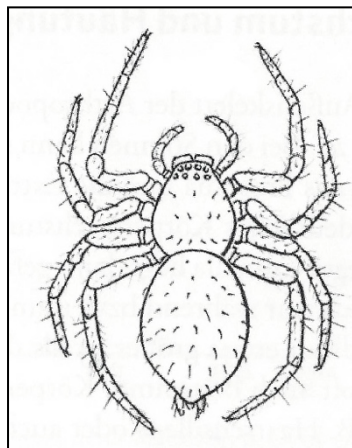


Abbildung 70. (aus Foelix, 2015)

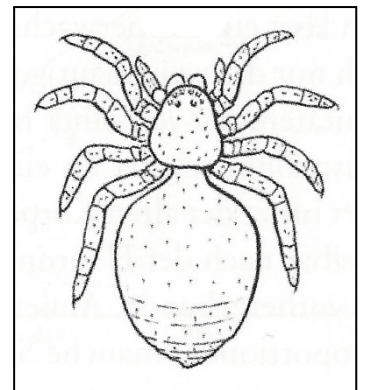


Abbildung 72. (aus Foelix, 2015)

Die Entwicklung von Spinnen

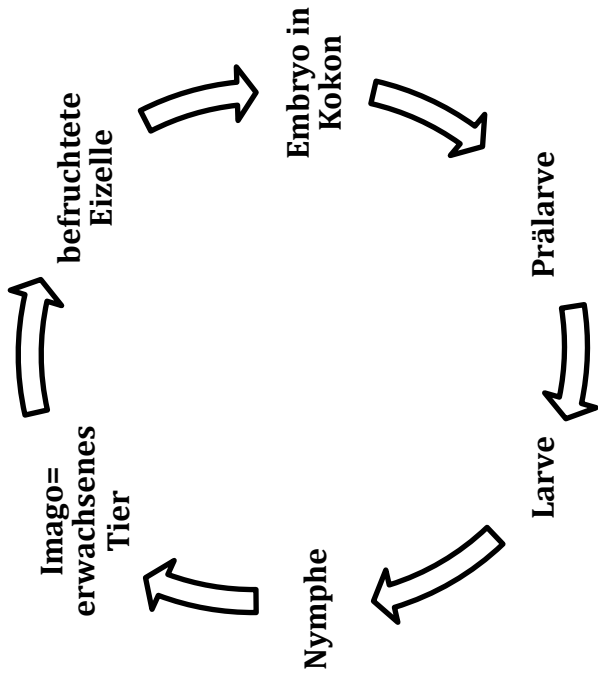
Eine weibliche Spinne kann die Samenzellen der männlichen Spinnen in der Samentasche speichern. Erst kurz bevor eine weibliche Spinne **Eier** legt, werden diese befruchtet. Die Eier werden anschließend mit Spinnseide umwickelt, sodass ein **Kokon** entsteht. Die Jungtiere, die sich in den Eiern entwickeln, werden Embryonen genannt. Der Kokon wird entweder im Spinnennetz befestigt, oder bei nicht netzbauenden Spinnen am Körper getragen. Aus den Eiern schlüpfen meist die **Prälarven**. Eine Prälarve ist noch unbeweglich, da die Beine noch nicht gegliedert sind.

Prinzipiell erfolgt das Wachstum einer Spinne immer durch Häutungen. Bei einer Häutung wird das zu klein gewordene Außenskelett aufgebrochen und abgestreift. Diese alten Spinnenhäute nennt man auch Exuvien.

Aus der Prälarve entwickelt sich die **Larve**. Eine Larve ist bereits beweglich und sieht aus wie eine typische Spinne. Der Larve fehlen jedoch z.B. die spezialisierten Sinneshaare, der Giftkanal und die Geschlechtsorgane. Nach einer oder mehreren Häutungen erreicht das Jungtier das **Nymphenstadium**. Das Nymphenstadium ist das letzte Stadium bevor die Spinne ihre adulte (=erwachsene) Größe erreicht. Eine Nymphe unterscheidet sich von einem adulten Tier nur durch das Fehlen des Geschlechtsapparates. Hat eine Spinne das adulte Stadium (**Imago** = erwachsenes Tier) erreicht, so sind auch die Geschlechtsorgane ausgebildet und die Spinne kann sich fortpflanzen. Somit ist der Kreislauf geschlossen.

	Larvale Phase Das Tier kann sich nicht selbst ernähren		Nympho-Imaginale Phase Das Tier kann sich selbstständig ernähren	
	Prälarve	Larve	Nymphe	Adult
Beweglichkeit	unbeweglich	wenig beweglich	komplett beweglich	komplett beweglich
Beine	ungegliedert	gegliedert	gegliedert	gegliedert
Behaarung	keine Haare am Körper	wenige Haare mit Sinnesfunktion, Stacheln	vielfältige Sinneshaare	vielfältige Sinneshaare
Chelicerenklauen	unvollständig entwickelt	Klaue entwickelt, aber ohne Giftkanal	Klaue mit Giftkanal	Klaue mit Giftkanal
Spinnwarzen	kaum entwickelt	Spinnwarzen entwickelt, aber noch nicht funktionsfähig	funktionsfähige Spinnwarzen	funktionsfähige Spinnwarzen
Geschlechtsorgane	nicht vorhanden	nicht vorhanden	nicht vorhanden	vorhanden

Name: _____



Wann werden die Eizellen einer weiblichen Spinne befruchtet und wozu dient die Samentasche der weiblichen Spinne? _____

Warum müssen sich Spinnen häuten? _____

Was ist eine Exuvie? _____

Arbeitsauftrag:

Schau dir auf deinem Smartphone oder dem PC im Klassenzimmer das **Video** auf **Youtube „Geliebt und gefürchtet: Spinnen“**

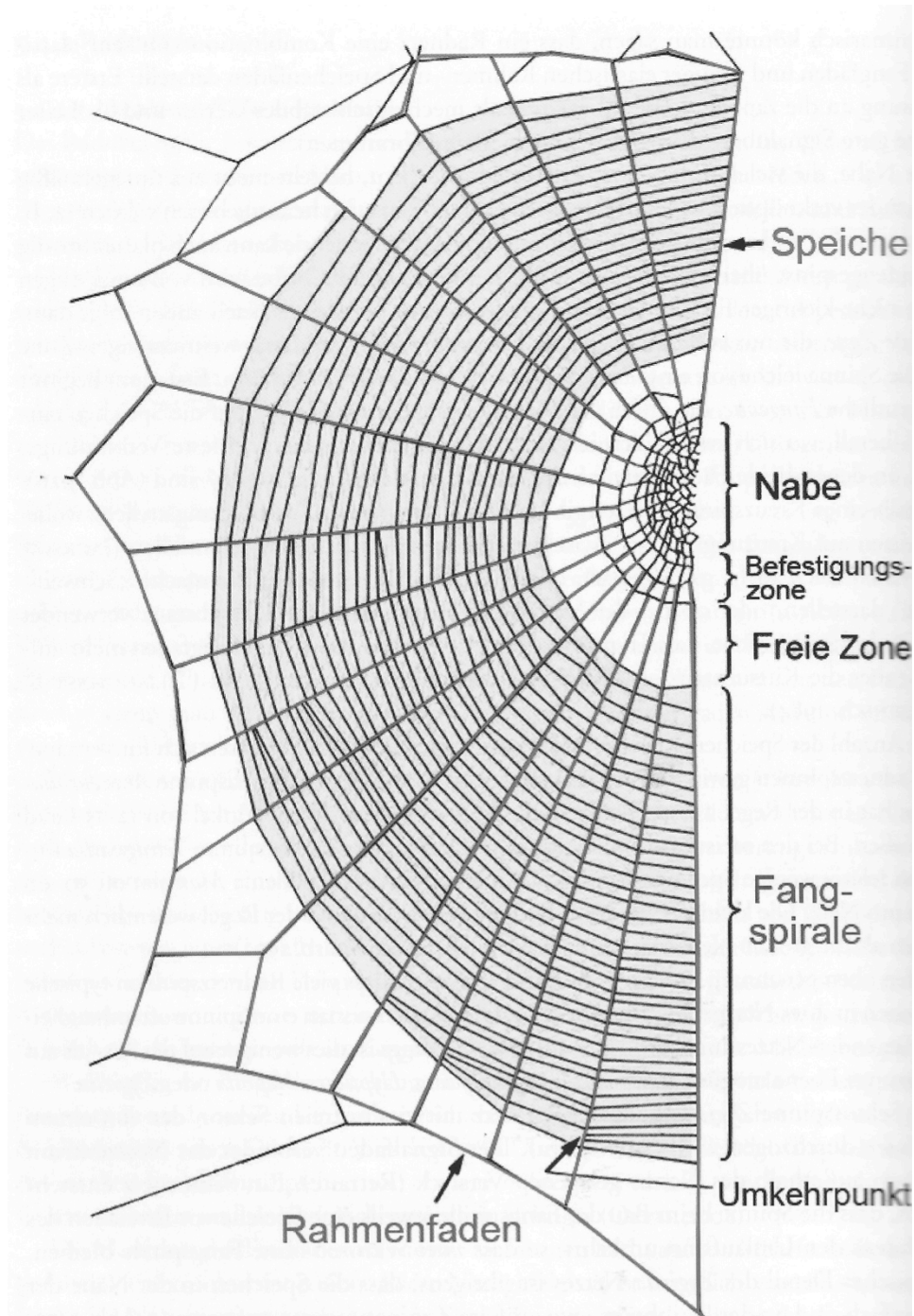
(<https://www.youtube.com/watch?v=KQ01kF7Qgic>) **von Minute 9:40-15:00 an.**

Ziehe anschließend die folgenden Bereiche des Spinnennetzes mit den folgenden Farben nach: **Rahmenfaden → grün**

Speichen → rot

Fangspirale → blau

Nabe → gelb



Anleitung: Weben eines Spinnennetzes

Sei selbst eine Spinne und webe laut der Anleitung ein Spinnennetz.

Du brauchst dazu:

- eine Styropor-Unterlage
- etwa 15 Stecknadeln
- zwei lange Wollfäden und evt. eine Nähnadel

1. Stecke eine Stecknadel in die Mitte der Styroporplatte und 4-5 Stecknadeln sternförmig in einem Abstand von etwa 10 cm rundherum. Die Stecknadeln sollen gut halten, jedoch auch etwa 2cm aus dem Styropor ragen.

2. Befestige den Faden an einer äußeren Stecknadel. Stelle die Speichen her, indem du den Faden um die zentrale Nadel wickelst und anschließend wieder um eine äußere Stecknadel. Achte immer darauf, dass die Fäden immer knapp unter dem Stecknadelkopf gewickelt sind, sodass sie nicht auf der Platte aufliegen.

3. Wenn alle Speichen hergestellt sind führe den Faden zu der Stecknadel, bei der begonnen wurde, zurück und webe den Rahmen des Netzes. Befestige den Faden an der Stecknadel und schneide ihn ab.

Mit einem zweiten Faden werden nun die Fangfäden gewoben. Hierzu kannst du den Faden in eine Nähnadel fädeln, wenn du willst.

4. Befestige eine weitere Stecknadel zwischen einer Speiche nahe der Nabe und befestige einen neuen Faden an dieser Stecknadel. Fädle den Spinnfaden nun zwischen den beiden Fäden der Speichen durch.

5. Gehe so immer im Kreis weiter. Sind die Fäden zu locker kannst du immer wieder eine Stecknadel zwischen den Speichen einstecken. Webe so lange im Kreis bis du den Rahmenfaden erreichst. Befestige den Faden und schneide ihn ab.

6. Wenn noch Zeit ist, versuche die Nabe zu spinnen. Nimm einen dritten Faden und fädle ihn ganz eng und wirr im Zentrum des Netzes hin und her.

7. Super- fertig! Mach ein Foto von deinem Spinnennetz bevor du es wieder abbaust. Drucke dieses zuhause aus und gib es in deine Mappe!

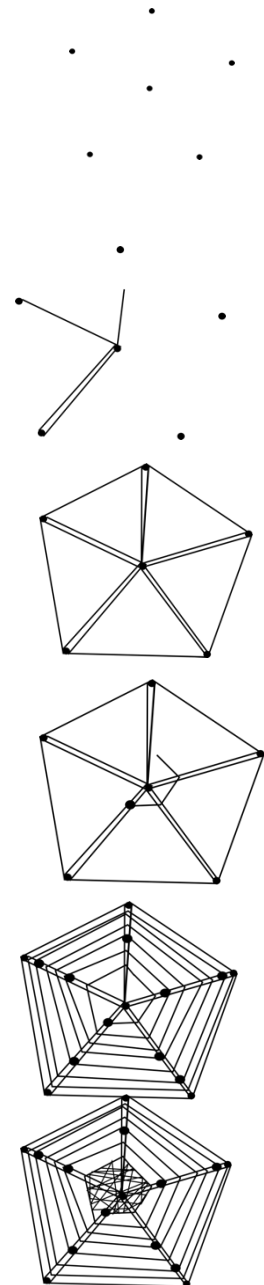


Abbildung 75, Skizzen zum Netzbau.

WICHTIG: Wickle den Faden wieder **ordentlich** in ein Knäuel auf und stecke die Nadeln zurück, sodass deine Mitschüler und Mitschülerinnen die Station sauber vorfinden!

Spinnentiere ... besitzen meist 8 Punktaugen. Insekten	Spinnentiere  ¹⁸Dieses Tier gehört zur Klasse der... Insekten	Spinnentiere  ¹⁹Dieses Tier gehört in die Klasse der ... Insekten
Spinnentiere Der Körper ist in drei Abschnitte gegliedert Kopf, Brust, Hinterleib. Insekten	Spinnentiere ... besitzen Facettenaugen die aus vielen einzelnen Linsen bestehen. Insekten	Spinnentiere  ²⁰Dieses Tier gehört in die Klasse der ... Insekten
Spinnentiere Der Körper wird in Vorder- und Hinterkörper geteilt. Insekten	Spinnentiere besitzen 6 Beine. Insekten	Spinnentiere  ²¹Dieses Tier gehört in die Klasse der ... Insekten

¹⁸ Amada44, 2008, Public Domain, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fly_close.jpg, Download am 14.8.2016

¹⁹ Friedrich Bohringer, 2008, CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gartenkreuzspinne_Araneus_diaenatus_0.JPG, Download am 25.8.2016

²⁰ Buchse14, 2012, Public Domain, <https://pixabay.com/de/mücke-insekt-schnake-insekten-83639/>, Download am 14.8.2016

²¹ Jan Rehshuh, 2009, GNU Free 1.2, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Weberknecht_an_einer_wand.jpg, Download am 14.8.2016

Spinnentiere ... besitzen Fühler (Antennen). Insekten	Spinnentiere ... besitzen 8 Beine. Insekten	Spinnentiere ... werden auch Chelicerata genannt. Insekten	 Abbildung 80 ²² Dieses Tier gehört in die Klasse der ...
Spinnentiere ... besitzen Cheliceren (=Giftklauen). Insekten	Spinnentiere Manche können fliegen. Insekten	Spinnentiere ... besitzen zwei Paar Flügel. Insekten	 Abbildung 81 ²³ Das ist ein Spinnentier.

²² Hubert Berberich, 2011, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:IxodesRicinus2048.jpg>, Download am 14.8.2016

²³ BKoe, 2013, CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Neobisium_sylvaticum_03.jpg, Download am 14.8.2016

Spinnentiere ... sind zB. Fliegen, Heuschrecken, Käfer, Ameisen. Insekten	Spinnentiere ... besitzen keine Flügel. Insekten	wahr falsch	 Abbildung 82 ²⁴Das ist ein Insekt.
wahr Krebse gehören zu den Spinnentieren. falsch	wahr Alle Spinnen sind für den Menschen gefährlich. falsch	wahr falsch	Insekten sind eine Klasse der Gliederfüßer, Spinnentiere auch.
wahr Alle Spinnen bauen Fangnetze. falsch	wahr Spinnen besitzen immer 8 Augen. falsch	wahr falsch	Die Augen von Insekten bestehen aus vielen einzelnen Linsen.

wahr	Pedipalpen = Giftklauen	wahr	wahr	Die Beine von Insekten und Spinnentieren sind gegliedert.
falsch		falsch	falsch	
wahr	Insekten nennt man auch Hexapoda oder Insecta.	wahr	wahr	 Abbildung 83
falsch		falsch	falsch	²⁵ Das ist ein Spinnentier.
wahr		wahr	wahr	 Abbildung 86
falsch		falsch	falsch	²⁷ Das ist ein Spinnentier.
wahr		wahr	wahr	 Abbildung 85
falsch		falsch	falsch	²⁶ Das ist ein Spinnentier.

²⁵ SEFSC Pascagoula Laboratory, 2010, Public Domain, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Panulirus_argus_NOAA.jpg, Download am 14.8.2016

²⁶ Dozentist, 2005, GNU Free 1.2, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Crab_on_Panamanian_Beach_01.jpg, Download am 14.8.2016

²⁷ makamuki, 2014, Public Domain, <https://pixabay.com/de/tick-milbe-insekt-pest-1160411/>, Download am 14.8.2016

Das ist eine Kreuzspinne und gehört zu den Echten Webspinnen (Araneae).	richtig!	Das ist eine Schmeißfliege. Fliegen sind eine Unterordnung der Insekten.		Spinnen besitzen meist 8 Augen, es können aber auch weniger sein	richtig!
			richtig!		
Das ist eine Stechmücke. Mücken sind eine Unterordnung der Insekten.	richtig!	Facettenaugen werden auch Komplexaugen genannt.		Kopf = Caput Brust = Thorax Hinterleib = Abdomen	richtig!
			richtig!		
Das ist ein Weberknecht. Weberknechte sind eine Ordnung der Spinnentiere.	richtig!	Insekten besitzen immer 6 Beine!		Vorderkörper = Prosoma Hinterkörper = Opisthosoma	richtig!
			richtig!		

Das ist eine Zecke. Zecken gehören zu den Milben und sind daher Spinnentiere.	richtig!	Spinnentiere besitzen immer 8 Beine!	richtig!	Insekten besitzen ein Paar Fühler, Spinnentiere nicht!	richtig!
Alle Spinnentiere besitzen Cheliceren, daher kommt der Name Chelicerata.	richtig!	Einige Insekten können fliegen (Fliegen, Mücken...). Spinnentiere nicht!	richtig!	Deswegen werden Spinnentiere auch Chelicerata genannt!	richtig!
Das ist ein Pseudo-Skorpion, eine Ordnung der Spinnentiere.	richtig!	Insekten besitzen immer zwei Paar Flügel, Spinnentiere können nicht fliegen!	richtig!	Weitere Spinnentiere sind die typischen Spinnen, die Webspinnen.	richtig!

Das ist eine Heuschrecke. Heuschrecken sind eine Ordnung der Insekten.		Spinnen besitzen keine Flügel. Manche Insekten schon (Biene).	richtig!	sind zB. Fliegen, Heuschrecken, Käfer, Ameisen.	richtig!
	richtig!				
Insekten, Spinnentiere, Krebstiere,... sind Klassen des Stammes Gliedertiere.		Weltweit sind nur etwa 0,2% der Spinnen für den Menschen gefährlich.	richtig!	Krebse gehören zu den Krustentieren. Das ist eine Klasse neben den Spinnentieren.	richtig!
	richtig!				
Man nennt diesen Augentyp Komplex- oder Facettenauge.		Spinnen besitzen meist 8 Augen. Es können aber auch nur 6 oder weniger sein.	richtig!	Man unterscheidet netzbauende und jagende Spinnen, die kein Netz bauen.	richtig!
	richtig!				

Die gegliederten Beine sind ein Merkmal aller Gliederfüßer (Arthropoda).	richtig!	Die Kiefertaster heißen auch Pedipalpen und dienen dem Tasten.	richtig!	Die Pedipalpen sind die Tastklauen einer Spinne. Die Giftklauen heißen Cheliceren.	richtig!
Das ist eine Languste. Langusten sind Krustentiere und keine Spinnentiere.	richtig!	Arachnida ist der lateinische Name der Spinnentiere.	richtig!	Insecta ist der lateinische Fachname für Insekten. Hexapoda ist griechisch und bedeutet Sechsheiner.	richtig!
Das ist eine Milbe. Milben sind eine Ordnung der Spinnentiere.	richtig!	Das ist ein Skorpion. Skorpione sind eine Ordnung der Spinnentiere.	richtig!	Das ist eine Krabbe. Krabbe gehören zu den Krustentieren und nicht zu den Spinnentieren.	richtig!

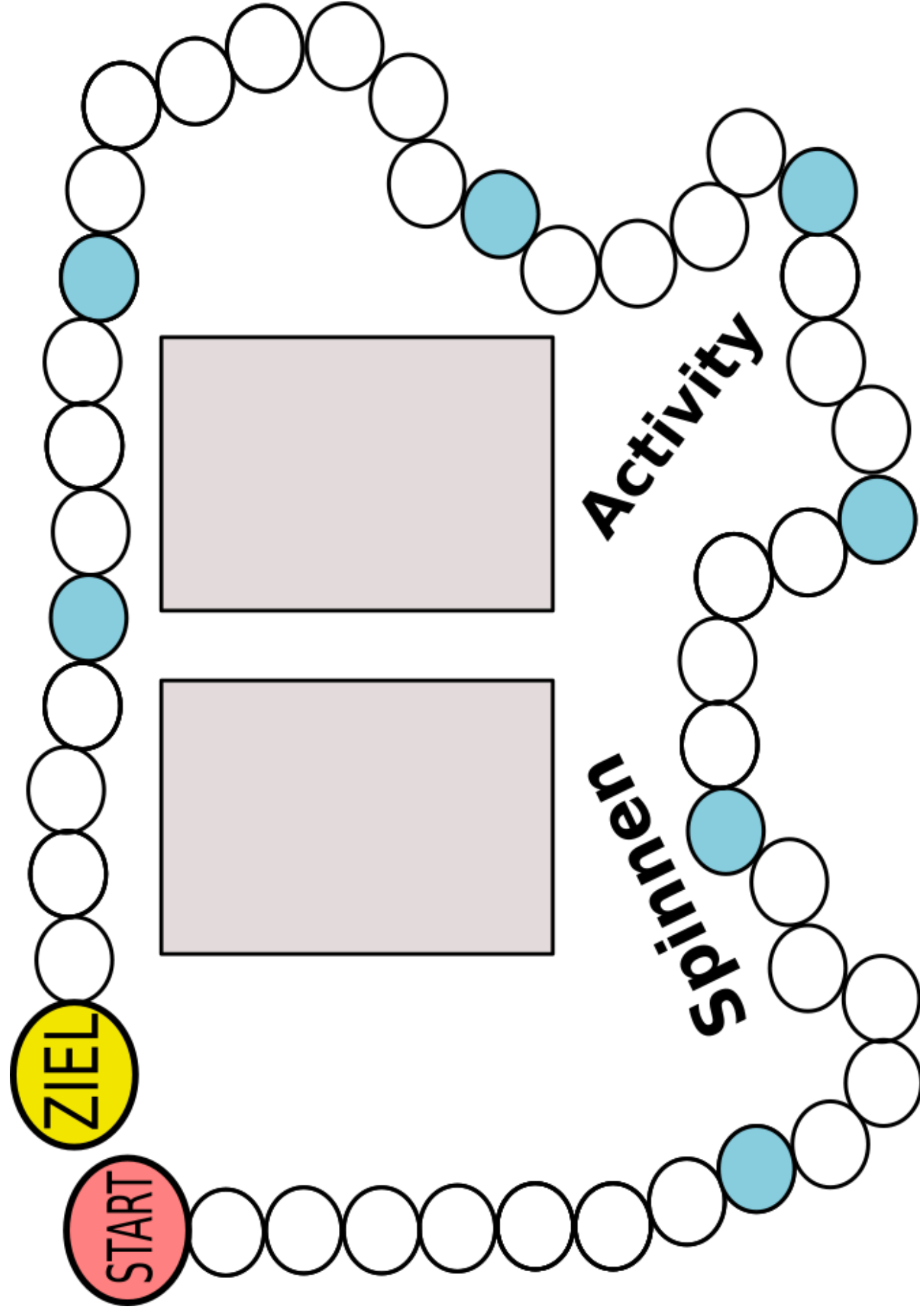


Abbildung 87, Spielfeld für das SPINNEN-ACTIVITY.

Spinnen Activity	Spinnen Activity	Spinnen Activity	Spinnen Activity
Spinnen Activity	Spinnen Activity	Spinnen Activity	Spinnen Activity
Spinnen Activity	Spinnen Activity	Spinnen Activity	Spinnen Activity

zeichnen (4) Gartenkreuz- spinne	zeichnen (4) Kürbisspinne	zeichnen (3) Vogelspinne	zeichnen (5) Krabbenspinne
zeichnen (6) Hausspinne	zeichnen (3) Kugelspinne	zeichnen (4) Vierfleck- Kreuzspinne	zeichnen (5) Wespenspinne
zeichnen (6) Dornfinger	zeichnen (5) Springspinne	zeichnen (6) Jagspinne	zeichnen (6) Wolfsspinne

erklären (3) Gartenkreuz- spinne	erklären (6) Kürbisspinne	erklären (3) Vogelspinne	erklären (3) Krabbenspinne
erklären (3) Hausspinne	erklären (4) Kugelspinne	erklären (5) Vierfleck- Kreuzspinne	erklären (6) Wespenspinne
erklären (6) Dornfinger	erklären (5) Springspinne	erklären (5) Jagdspinne	erklären (4) Wolfsspinne

Pantomime (5) Gartenkreuz- spinne	Pantomime (5) Kürbisspinne	Pantomime (3) Vogelspinne	Pantomime (4) Krabbenspinne
Pantomime (6) Hausspinne	Pantomime (3) Kugelspinne	Pantomime (6) Vierfleck- Kreuzspinne	Pantomime (3) Wespenspinne
Pantomime (3) Dornfinger	Pantomime (3) Springspinne	Pantomime (4) Jagdspinne	Pantomime (4) Wolfsspinne

zeichnen (3) Opisthosoma	zeichnen (3) Prosoma	zeichnen (3) Punktaugen	zeichnen (4) Laufbeine
zeichnen (6) Spinnwarzen	zeichnen (5) Spinndrüsen	zeichnen (4) Spinnseide	zeichnen (3) Spinnennetz
zeichnen (6) Cheliceren	zeichnen (5) Pedipalpen	zeichnen (6) Buchlunge	zeichnen (5) Fächerlunge

erklären (4) Opisthosoma	erklären (6) Prosoma	erklären (3) Punktaugen	erklären (3) Laufbeine
erklären (5) Spinnwarzen	erklären (5) Spinndrüsen	erklären (3) Spinnseide	erklären (4) Spinnennetz
erklären (6) Cheliceren	erklären (5) Pedipalpen	erklären (4) Buchlunge	erklären (5) Fächerlunge

Pantomime (6) Opisthosoma	Pantomime (5) Prosoma	Pantomime (3) Punktaugen	Pantomime (4) Laufbeine
Pantomime (6) Spinnwarzen	Pantomime (5) Spinndrüsen	Pantomime (4) Spinnseide	Pantomime (3) Spinnennetz
Pantomime (5) Cheliceren	Pantomime (6) Pedipalpen	Pantomime (4) Buchlunge	Pantomime (5) Fächerlunge

zeichnen (5) Giftkanal	zeichnen (4) Giftdrüse	zeichnen (3) Giftklaue	zeichnen (6) Lauerjäger
zeichnen (6) Beutefang	zeichnen (3) Nabe	zeichnen (4) Speichen	zeichnen (5) Spinnentier
zeichnen (5) Haemolymphe	zeichnen (4) Fangspirale	zeichnen (6) Radnetz- spinne	zeichnen (5) Röhren- tracheen

erklären (4) Giftkanal	erklären (6) Giftdrüse	erklären (3) Giftklaue	erklären (3) Lauerjäger
erklären (5) Beutefang	erklären (5) Nabe	erklären (3) Speichen	erklären (4) Spinnentier
erklären (6) Haemolymphe	erklären (5) Fangspirale	erklären (4) Radnetz- spinne	erklären (6) Röhren- tracheen

Pantomime (6) Giftkanal	Pantomime (5) Giftdrüse	Pantomime (3) Giftklaue	Pantomime (4) Lauerjäger
Pantomime (6) Beutefang	Pantomime (5) Nabe	Pantomime (4) Speichen	Pantomime (3) Spinnentier
Pantomime (5) Haemolymphe	Pantomime (6) Fangspirale	Pantomime (4) Radnetz- spinne	Pantomime (5) Röhren- tracheen

zeichnen (3) Ei	zeichnen (4) Kokon	zeichnen (4) Larve	zeichnen (6) Exuvie
zeichnen (6) sich häuten	zeichnen (5) Außenskelett	zeichnen (5) Nymphe	zeichnen (5) Imago
zeichnen (3) Sinneshaare	zeichnen (5) Vibrationen	zeichnen (5) Unterschlund- ganglion	zeichnen (5) Oberschlund- ganglion

erklären (3) Ei	erklären (5) Kokon	erklären (6) Larve	erklären (3) Exuvie
erklären (3) sich häuten	erklären (5) Außenskelett	erklären (6) Nymphe	erklären (5) Imago
erklären (4) Sinneshaare	erklären (5) Vibrationen	erklären (5) Unterschlund- ganglion	erklären (5) Oberschlund- ganglion

Pantomime (5) Ei	Pantomime (5) Kokon	Pantomime (6) Larve	Pantomime (5) Exuvie
Pantomime (4) sich häuten	Pantomime (5) Außenskelett	Pantomime (5) Nymphe	Pantomime (5) Imago
Pantomime (5) Sinneshaare	Pantomime (6) Vibrationen	Pantomime (6) Unterschlund- ganglion	Pantomime (5) Oberschlund- ganglion

5.1.3 Unterrichtsvorschlag Oberstufe

Die entworfene Unterrichtseinheit zielt auf das freie und vorwissenschaftliche Arbeiten im Bereich der Verhaltensbiologie ab. SchülerInnen sollen lernen, eigenständig Untersuchungen durchzuführen und zu Fragestellungen passende Experimente zu planen. Zeitgleich sollen sie ihr erworbenes Wissen aus Mathematik anwenden, um einfache statistische Auswertungen durchführen und Ergebnisse graphisch darstellen zu können.

5.1.4 Arbeitsauftrag Verhaltensforschung

1. Lebensweise und Jagdmethode der Spinne *C. salei*

Verwende einen PC oder dein Smartphone um dich über die Lebensweise der Spinne *C. salei* zu informieren. Befasse dich mit der Jagdmethode und der Beute und Feinde dieser Spinne. Notiere die wichtigsten Fakten!

2. Überlege selbst, welche Sinnesorgane für ein Lebewesen mit einer derartigen Lebens- und Jagdstrategie wichtig sind. Begründe deine Überlegungen und recherchiere erneut!

3. Vergleiche den Aufbau eines Spinnenauges mit dem eines Insekts. Verwende dazu das Internet und dein Biologie-Buch aus der 6.Klasse! Fertige eine Skizze beider Augentypen an!

4. Die nachstehende Abbildung zeigt die Anordnung der Augen einer adulten *C. salei* (aus Zopf et al. 2010). Man unterscheidet vier Augenpaare, die artspezifisch angeordnet sind und unterschiedliche Funktionen besitzen.

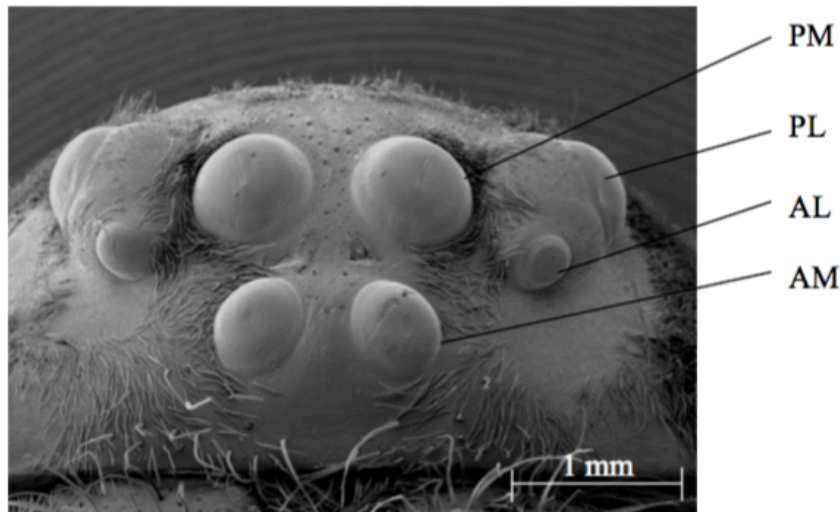


Abbildung 88, REM – Aufnahme der Augen einer adulten *C. salei*. AL = anterior lateral, AM = anterior median, PL = posterior lateral, PM = posterior median (aus Zopf, 2010).

Informiere dich, welche Augen welche Sehfelder abdecken. Entwerfe Hypothesen über die Funktionen der verschiedenen Augen und recherchiere wieder selbstständig!

5. Farbsehen bei Spinnen

Recherchiere selbstständig, welche Farben das nachtaktive Tier *C. salei* wahrnehmen kann und stelle einen erklärenden Bezug zu der Umwelt und Lebensweise des Tieres her!

6. Versuch zum Nachweisen des Farbsehens

An der Universität Wien wurde folgender verhaltensbiologischer Versuch durchgeführt (Zopf et al. 2010). Ein Raum wurde mit Licht in unterschiedlichen Wellenlängen ausgeleuchtet. In diesem Labor befand sich eine Arena. Die Arena zeigte an der Vorderwand einen dunklen Streifen. Die Spinne wurde im hinteren mittleren Bereich der Arena freigelassen. Die Wege der Spinne wurden mit einer Kamera aufgezeichnet und ausgewertet.

In der folgenden Abbildung sind Teilergebnisse dieser Studie zu sehen. Erkläre die Abbildungen und interpretiere diese!

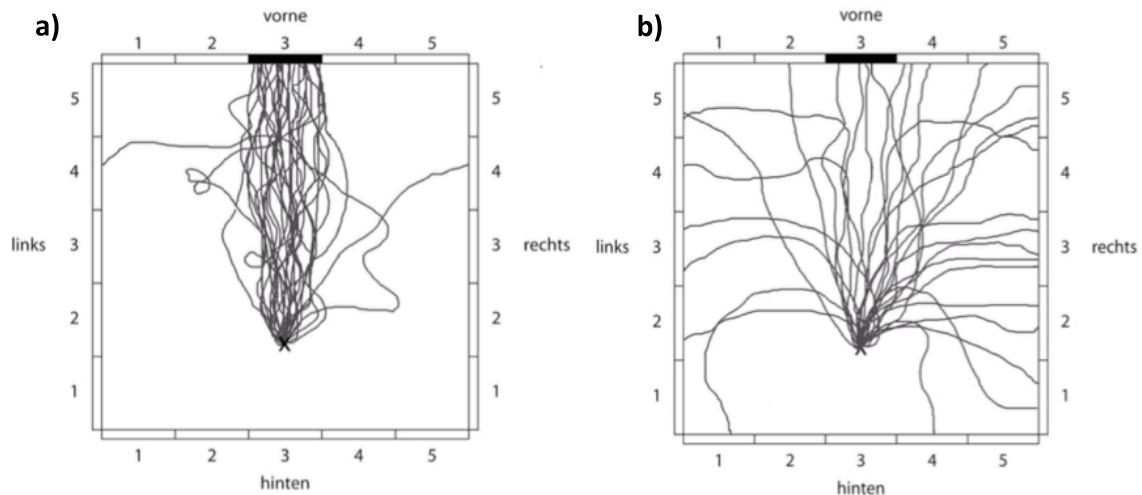


Abbildung 89, 30 Laufstrecken von *C.salei* bei a) 513,9nm und b) 695nm. (aus Zopf, 2010)

7. Versuche zur Objektdiskriminierung

Recherchiere selbstständig über die Fähigkeit von Spinnen visuelle Objekte zu unterscheiden. Dazu gibt es ebenfalls Forschungsarbeiten von der Universität Wien. Informiere dich, welche Augen diese Aufgabe übernehmen und welche Objekte von Spinnen präferiert werden. Erkläre einen Versuchsaufbau, der diese Frage klärt. Gibt es Erkenntnisse, welche visuellen Reize einer Beute zu Beutefangverhalten führen?

8. Versuch: Das visuell ausgelöste Angriffsverhalten von *C. salei*

An der Universität Wien werden viele verhaltensbiologische Experimente an der Spinne *C. salei* durchgeführt, mit denen herausgefunden werden soll, welche Eigenschaften ein Reiz haben muss, um als Beute wahrgenommen und demnach attackiert zu werden. Lies dazu das Protokoll zum Versuch „Das visuell ausgelöste Angriffsverhalten von *C. salei*“. Versuche die Ergebnisse zu verstehen und selbstständig zu interpretieren!

In Gruppen werdet ihr unter der Anleitung eurer Lehrperson diesen Versuch nachmachen und ein eigenes Protokoll verfassen!

Wichtig dabei ist Versuchsbedingungen möglichst konstant zu halten und alle Ergebnisse genauestens zu protokollieren. Einigt euch in der Gruppe, auf welche Aspekte des Versuchs ihr euch konzentrieren wollt und wie ihr eure Ergebnisse in eurem Protokoll graphisch darstellt (Histogramm, Boxplot...)!

9. Forschungsplan

Welche Aspekte der Reizqualitäten eines Beuteobjekts sollten prinzipiell und im speziellen wie getestet werden? Erstelle selbstständig einen Forschungsplan, der folgende Inhaltspunkte enthalten soll:

- 1) theoretische Einleitung (bisherige Erkenntnisse)
- 2) Hypothese
- 3) Versuchsaufbau (Zeitplan, Material, Versuchstiere...)
- 4) Bedeutung möglicher Ergebnisse

Dieser schriftliche Plan ist deinem/r Lehrer/in abzugeben und vor bzw. nach der Bewertung zu besprechen.

10. Lehrausgang Departement Neurobiologie

Zum Abschluss des Themas Verhaltensbiologie besuchen wir gemeinsam die Universität Wien am Neurobiologischen Institut. Sei neugierig und aufmerksam und verschaffe dir einen Überblick über die Forschungsarbeiten an diesem Institut. Eine Zusammenfassung über das wissenschaftliche Arbeiten an der Universität Wien ist am Ende schriftlich abzugeben. Die Leitfragen helfen dir dabei.

Leitfragen:

Warum forscht man überhaupt?

Mit welchen Tieren wird an der Universität/am Institut Forschung betrieben? Warum gerade diese?

Wie bekommt Zugang zu Versuchstieren?

Welche Forschungsfragen stehen aktuell im Mittelpunkt? Warum?

Seit wann wird die Forschung betrieben?

Wie sieht ein Arbeitstag am Institut/an der Universität aus?

Wie werden Erkenntnisse geprüft? – Wie entsteht Wissen in der Biologie?

Wie wichtig ist es Ergebnisse zu veröffentlichen? Wie ist der Ablauf von der Forschungsfrage bis zum veröffentlichtem Paper?

6 Literaturverzeichnis

Barth, F. G. (2001): A spider's World: Senses and Behavior. Berlin, Heidelberg, New York; Springer Verlag

Barth, F. G. (1973a): Microfiber reinforcement of an arthropod cuticle. Laminated composite material in biology. Z. Zellforsch 144, 409-446

Barth, F. G., Seyfarth, E.-A. (1979): *Cupiennius salei* Keys. (Araneae) in the Highlands of Central Guatemala. J. Arachnol. 7(3), 255-263

Bellmann, H. (2010): Der Kosmos Spinnenführer – Über 400 Arten Europas. Stuttgart; Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co. KG

Bundesministerium für Bildung und Frauen (2000): Lehrplan der AHS Oberstufe. https://www.bmb.gv.at/schulen/unterricht/lp/lp_neu_ahs_08_11860.pdf, Download am 3.12.2016

Bundesministerium für Bildung und Frauen (2000): Lehrplan der AHS Unterstufe. https://www.bmb.gv.at/schulen/unterricht/lp/ahs5_779.pdf?5i84ju, Download am 3.12.2016

Forster, L. M. (1977): A qualitative analysis of hunting behaviour in jumping spiders (Araneae: Salticidae). New Zealand Journal of Zoology, Vol. 4 (1), p. 51-62

Fenk, L. M., Hoinkes, T., Schmid, A. (2010): Vision as a third sensory modality to elicit attack behaviour in a nocturnal spider. J. Comp. Physiol. A. 196, 957-961

Grusch, M., Barth, F. G., Eguchi, E. (1997): Fine structural correlates of sensitivity in the eyes of the ctenid spider *Cupiennius salei* Keys. Tissue & Cell 29, 421-430

Kaps, F. (1998): Anatomische und physiologische Untersuchungen zur Funktion der Retinabewegungen bei *Cupiennius salei* (Araneae, Ctenidae). Dissertation, Universität Wien

Kuntner, M., S., Zhang, S., Gregoric, M., Li, D. (2012): Nephila female gigantism attained through post-maturity molting. J. Arachnol. 40, 345-347

Land, M. F., Barth, F. G. (1992): The Quality of Vision in the Ctenid Spider *Cupiennius salei*. J. exp. Biol. 164, 227-242

Lindner (2013): Visually elicited prey capture behavior in *Cupiennius salei*. Diplomarbeit, Universität Wien

Peters, H. M. (1982): Wie Spinnen der Familie Uloboridae ihre Beute einspinnen und verzehren. Verh. naturwiss. Ver. Hamburg 25, 223-227

Reithofer, C. (2015): The visually elicited prey capture behaviour of *Cupennius salei*. Diplomarbeit, Universität Wien

Schmid, A. (1998): Different functions of different eye types in *Cupennius salei*. The Journal of Experimental Biology – 201, p. 221-225

Schmitz, A. (2005): Spiders on a treadmill: influence of running activity on metabolic rates in *Pardosa lugubris* (Araneae, Lycosidae) and *Marpissa muscosa* (Araneae Salticidae). J. exp. Biol. 208, 1401-1411

Schützinger, S. (2014): Visually elicited prey capture behavior in *Cupiennius salei*. Diplomarbeit, Universität Wien

Shultz, J. W. (2007): A phylogenetic analysis of the arachnid orders based on morphological characters. Zool. J. Linnean Soc. 150, 221-265

Storch, V., Welsch U. (2014): Kükenthal Zoologisches Praktikum, 27. Auflage. Berlin, Heidelberg; Springer-Verlag

Vachon, M.(1957): Contribution à l'étude du développement postembryonnaire des araignées. Première note. Généralités et nomenclature des stades. Bull. Soc. Zool. France 82, 337-354

Walla, P., Barth, F. G., Eguchi, E. (1996): Spectral Sensitivity of Single Photoreceptor Cells in the Eyes of the Ctenid Spicier *Cupiennius salei* Keys. Zoological Science, Vol. 13, p. 199-202

Wiehle, H. (1929): Weitere Beiträge zur Biologie der Araneen, insbesondere zur Kenntnis des Radnetzes. Z. Morph. Ökol. Tiere 15, 262-308

Zopf, L. M., Schmid, A., Fredman, D., Eriksson, B. J. (2013): Spectral sensitivity of the ctenid spider *Cupiennius salei*. The Journal of Experimental Biology, Vol. 216, p. 4103-4108

7 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1, Grobgliederung des Spinnenkörpers. Pro- und Opisthosoma sind durch den Petiolus (Stiel) verbunden. Vier Beinpaare setzen am Prosoma an (bearbeitet nach Kaladri, 2009, Public Domain, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spider-characteristics.png , Download am 3.5.2016).....	8
Abbildung 2, Körperanhänge des Prosomas. Insgesamt gehen vom Prosoma sechs paarige Körperanhänge aus. 1 = 4 Beinpaare, 2 = Pedipalpen, 3 = Cheliceren (bearbeitet nach Philcha, 2009, Public Domain, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spider_main_organs_labelled.png , Download am 3.5.2016).....	10
Abbildung 3, Gliederung eines Laufbeines. Jedes Laufbein besteht aus sieben Gliedern und ist dicht mit Haaren besetzt (aus Storch und Welsch, 2014).....	10
Abbildung 4, Kopfabschnitt des Prosomas. Die Cheliceren sind in zwei Abschnitte gegliedert: Das Grundglied und die bewegliche Giftklaue. Durch den Giftkanal strömt das Gift von der Giftdrüse in die Beute (bearbeitet nach John Henry Comstock, 2009, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spider_internal_anatomy-en.svg , Download am 6.3.2016).....	13
Abbildung 5, REM-Bild der Anordnung der acht Augen von <i>C. salei</i> . Die AM- und AL-Augen bilden die Vorderreihe, die PM- und PL-Augen bilden die Hinterreihe. AM= anterior-median, AL= anterior-lateral, PM= posterior-median, PL= posterior-lateral (aus Zopf, 2010).....	15
Abbildung 6, Aufbau von Haupt- (links) und Nebenaugen (rechts). Bei Nebenaugen ist ein Tapetum vorhanden (nach Barth, 2001).....	15
Abbildung 7, Lage der Inneren Organe des Pro- und Opisthosomas. Im Prosoma befinden sich das ZNS, die paarigen Giftdrüsen und die ersten Abschnitte des Verdauungstraktes (Rostrum, Oesophagus, Gaster). Alle weiteren Organe befinden sich im Opisthosoma. 1...Oberschlundganglion, 2...Unterschlundganglion, 3...Giftdrüse, 4...Saugmagen, 5...Darmdivertikel, 6...Mitteldarm, 7...Herz, 8...Malphigische Gefäße, 9...Kloake mit After, 10...Buchlung mit Lungenschlitz, 11...Tracheen, 12...Ovar mit Geschlechtsöffnung, 13...Spinnwarzen, 14...Spinndrüsen; (bearbeitet nach Philcha, 2009, Public Domain, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spider_internal_anatomy-en.svg , Download am 9.3.2016).....	18
Abbildung 8, Offenes Blutkreislaufsystem der Araneae. Das Herz liegt im dorsalen Bereich des Opisthosomas und pumpt das Blut (Haemolymph) durch Arterien und Arteriolen in den Körper. Es sammelt sich in Lakunen und fließt über die Buchlung zurück zum Herzen. Venen und Kapillaren gibt es nicht. 1-3...Seitenarterien des Opisthosomas (nach Foelix, 2015).....	21
Abbildung 9, Mikroskopischer Längsschnitt einer Buchlung. Die Atemluft gelangt über die Lungenschlitze in den Atemvorhof (Vh). Die Haemolymph in den Blättern werden von Atemluft umströmt und es kommt zum Gasaustausch (nach Foelix, 2015).....	23
Abbildung 10, Anordnung der Spinnwarzen bei der Kreuzspinne (<i>Araneus diadematus</i>). Typischerweise liegen drei Paar Spinnwarzen (vordere, mittlere, hintere) am Ende des Opisthosomas (nach Foelix, 2015)...	26
Abbildung 11, Spinndrüsen und Spinnwarzen der Radnetzspinne <i>Nephila</i> . Die Spinndrüsen unterscheiden sich in Form und Funktion und münden in verschiedene Spinnwarzen (aus Foelix, 2015).....	28
Abbildung 12, Pedipalpentarsus einer männlichen Spinne. Dem Tarsus (Cymbium) sitzt der Bulbus auf mit dem der Spermatropfen aufgenommen, gespeichert und in die weibliche Epigyne abgegeben werden kann (aus Foelix 2015).....	30
Abbildung 13, Schichtbau der Cuticula an verschiedenen Körperstellen von <i>C. salei</i> . Die Cuticula besteht aus Epi-, Exo-, Meso- und Endocuticula, die an unterschiedlichen Stellen unterschiedlich stark ausgeprägt sind (aus Foelix, 2015; nach Barth 1973a).....	33
Abbildung 14, Trichobothrium (oben) und Anordnung der Trichobothrien auf einem Laufbein (unten; Ti... Tibia, Me... Metatarsus). Die Trichobothrien sind artspezifisch angeordnet und dienen der Wahrnehmung von Luftströmung (aus Barth, 2001).....	36
Abbildung 15, Einzelnes Spaltsinnesorgan (a) und lyraformes Organ (b). Beim Lyraformen Organ liegen die Spalten dicht und parallel aneinander (aus Foelix, 2015).....	37
Abbildung 16, Aufbau eines Radnetzes der Kreuzspinne <i>Araneus diadematus</i> . Die Elemente des Netzes bestehen aus unterschiedlichen Fäden und dienen verschiedenen Funktionen (aus Foelix, 2015).....	42
Abbildung 17, Entwicklungsstadien einer Spinne. Aus dem befruchteten Ei schlüpft eine Prälarve oder Larve. Nach mehreren Häutungen ist eine Nymphe vorhanden. Bei einer Nymphe sind alle Körperanhänge ausdifferenziert. Sie unterscheidet sich vom adulten Tier nur durch das Fehlen des funktionsfähigen Geschlechtsapparates (aus Foelix, 2015, nach Vachon, 1957).....	46
Tabelle 1, Merkmalsübersicht über die verschiedenen Entwicklungsstadien einer Spinne (nach Vachon 1957, Foelix 2015).....	47
Abbildung 18, Die Versuchstiere <i>Cupiennius salei</i> am Neurobiologischen Institut der Universität Wien. a) Die Weibchen besitzen eine rote Färbung am Bauch, die Beine sind gestreift. b) Die Männchen sind bauchseitig unauffällig braun.....	50

Abbildung 19, Das Sehfeld von <i>C. salei</i> . a) Durch die Anordnung der Augen von <i>C. salei</i> gibt es überlappende Sehfelder, die ein räumliches Sehen ermöglichen (nach Land und Barth, 1992). b) Besonders die Sehfelder der PM-Augen erstreckt sich über einen weiten Winkel nach hinten, sodass nur ein schmaler Bereich von etwa 30° hinter der Spinne für diese uneinsichtig ist (aus Kaps, 1998).....	53
Abbildung 20, Schematische Aufsicht auf den Versuchsaufbau. Jeweils zwei Spinnen wurden in ihren Gläsern (G) vor einem LCD-Screen (S) mit Hilfe eines Labor-Boys (LB) auf der richtigen Höhe positioniert. Visuelle Barrieren (W) wurden aus Styroporwänden aufgebaut, sodass die Spinnen voneinander und auch vom Versuchsleiter am Laptop (L) getrennt waren. Eine Kamera (K) zeichnete die Versuche für die spätere Auswertung auf (aus Reithofer, 2014).....	57
Abbildung 21, Schematischer Ablauf der visuellen Stimulation von <i>C. salei</i> . Ein schwarzer Punkt auf grünem Hintergrund erscheint am unteren Ende des Bildschirms und bewegt sich mit gleichbleibender Geschwindigkeit senkrecht nach oben (aus Reithofer, 2014).	58
Abbildung 22, Skizze zur Berechnung des scheinbaren Größes α des visuellen Reizes. Unter Kenntnis der Entfernung zwischen Spinne und Bildschirm ($g=30\text{cm}$) sowie der absoluten Größes des Punktes ($r=8\text{cm}$) kann die scheinbare GröÙe (α) des Punktes mit der Formel $\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{g}{2r}$ berechnet werden (Skizze aus Reithofer, 2014).....	59
Tabelle 2, Parameter der Geschwindigkeitstests. Bei der Kontrollgruppe bewegte sich der Punkt nicht. Bei den anderen Tests variierte die Geschwindigkeit zwischen 81,9°/s und 0,013°/s. Bei schnelleren Geschwindigkeiten wurde die visuelle Stimulation öfters wiederholt.....	61
Abbildung 23, Schematischer zeitlicher Ablauf der Versuche zur Punkterscheinung. Testsituation B unterscheidet sich von Testsituation A (Geschwindigkeitstests), da der Punkt nach der zehnminütigen Pause sofort auf der Bildfläche komplett erscheint und sich erst nach oben bewegt, wenn der Punkt aus Testsituation A die gleiche Position erreicht hat (aus Reithofer 2014).....	62
Tabelle 3, Ergebnisse der Vorstudien. Vortest 4 erzielte die höchste Reaktionsrate. Die niedrigste Reaktionsrate war bei Vortest 1 zu beobachten. Die Spinnen reagierten auf diesen visuellen Reiz signifikant niedriger als auf die Tests 2-4.	64
Tabelle 4, Reaktionsrate [%], Stichprobenumfang (n) der Geschwindigkeitstests von <i>C. salei</i> . Die Reaktionsrate schwankt enorm bei den verschiedenen Geschwindigkeiten. Die höchste Reaktionsrate von 75% wurde bei einer Geschwindigkeit von 0,49°/s erreicht.....	65
Abbildung 24, Reaktionsraten bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten [°/s]. Die maximale Reaktionsrate wurde bei 0,49°/s erreicht. Wird die Geschwindigkeit erhöht, so nähert sich die Reaktionsrate 0% an. Mit sinkender Geschwindigkeit sinkt zwar ebenfalls die Reaktionsrate, beträgt bei der langsamsten Geschwindigkeit jedoch immer noch 35,7% (aus Reithofer, 2014).	66
Abbildung 25, Latenzzeiten bis zur ersten gezeigten Verhaltensweise von <i>C. salei</i> . Mit steigender Geschwindigkeit nehmen die Latenzzeiten signifikant ab (aus Reithofer, 2014).	67
Abbildung 26, Minimaldistanz des Punktes bis zur ersten Reaktion abhängig von der Geschwindigkeit des Punktes. Bei Geschwindigkeiten zwischen 0,1°/s und 6,1°/s war der Punkt noch nicht vollständig sichtbar, als die schnellste Reaktion erfolgte. Bei den beiden größten Geschwindigkeiten befand sich der Punkt bereits im oberen Bereich des mittleren Drittels, als die erste Reaktion gezeigt wurde (aus Reithofer, 2014).	68
Abbildung 27, Zusammensetzung der gezeigten Verhaltensweisen bei den unterschiedlichen Geschwindigkeiten. Verfolgungsverhalten wurde bei allen Geschwindigkeiten zu mehr als 30% gezeigt. Drohverhalten war bei allen Tests, außer bei der langsamsten Geschwindigkeit, jene Verhaltensweise die am wenigsten von <i>C. salei</i> gezeigt wurde (aus Reithofer, 2014).	69
Abbildung 28, Erste gezeigte Verhaltensweisen bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten. In jedem Geschwindigkeitstest wurde als erstes Orientierungsverhalten gezeigt oder der bewegte Punkt wurde attackiert (aus Reithofer, 2014).	70
Abbildung 29, Reaktionsraten in Testkondition A und B. Bei Testkondition A wurde eine Rate von 57% erreicht. Bei Testkondition B reagierten nur 22% der getesteten Spinnen auf den präsentierten Reiz. Der Unterschied ist hoch signifikant (A: $n(\text{reaction})=34$, $n(\text{no reaction})=26$, B: $n(\text{reaction})=13$, $n(\text{no reaction})=13$; $\chi^2=14,931$, $p=0,000$; aus Reithofer, 2014).	71
Ist der Punkt komplett sichtbar und beginnt sich zu bewegen (B), so reagierten die Tiere frühestens nach 279 s auf den Punkt, wobei bereits nach 59,95s in Testkondition A eine Reaktion ausgelöst wurde. Die medianen Latenzzeiten betragen 221s in Testsituation A und 519s in Testsituation B (Abb. 30).....	71
Abbildung 31, Körperbau der Spinne. (bearbeitet nach Naturama Aargau; http://www.expedia.ch/fileadmin/user_upload/iframes/PPT_Was_ist_eine_Spinne/data/pres/s2s3.png , Download am 23.8.2016).....	82
Abbildung 32, Bauchseite einer Spinne. (bearbeitet nach Julian Ritter; http://www.theraphosa-franken.de/images/koerperbau-vogelspinne-w3.jpg , Download am 23.8.2016).....	82
Abbildung 33, Ein Weibchen der Gemeinen Baldachinspinne mit Beute. (Andreas Eichler, 2012, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2012.10.20-17-Mannheim_Vogelstang--Baldachinspinne-Linyphia_Triangularis-Weibchen.jpg , Download am 25.8.2016).....	86

Abbildung 34, Dornfinger-Weibchen im Netz. (Rainer Altenkamp, 2014, GNU Free 1.2, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cheiracanthium_punctorium_070916.jpg?uselang=de , Download am 25.8.2016)	87
Abbildung 35, Eichblatt-Radnetzspinne auf einem Blatt. (Hans, 2011, CC0 Public Domain, https://pixabay.com/de/eichblatt-radspinne-9259/ ; Download am 25.8.2016).....	88
Abbildung 36, Männchen der Großen Winkelspinne. (Kurt Kulac, 2007, CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tegenaria_atrica_male01.jpg , Download am 25.8.2016).....	89
Abbildung 37, Gartenkreuzspinne im Netz. (Friedrich Bohringer, 2008, CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gartenkreuzspinne_Araneus_diadematus_0.JPG , Download am 25.8.2016).....	90
Abbildung 38, Kürbisspinne. (NobbiP, 2015, GNU Free 1.2, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kürbisspinne_Araniella_4370.jpg?uselang=de , Download am 25.8.2016).....	91
Abbildung 39, Vierfleck-Kreuzspinne auf Pflanze. (H. Krisp, 2011, CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vierfleckkreuzspinne-Araneus-quadratus.jpg , Download am 25.8.2016).....	92
Abbildung 40, Braune Kugelspinne auf einem Blatt. (Sanja565658, 2008, GNU Free 1.2, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Theridion_impresum_01.JPG?uselang=de , Download am 25.8.2016).....	93
Abbildung 41, Schwarze Witwe in Kroatien. (Kork-commonswiki, 2005, Public Domain, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Latrodectus_tredecimguttatus_female.jpg , Download am 25.8.2016).....	93
Abbildung 42, Grüne Krabbenspinne. (André Karwath, 2005, CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diaea_dorsata_(aka).jpg , Download am 25.8.2016).....	94
Abbildung 43, Große Zitterspinne mit Brut. (Achim Müller, 2007, CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spinne_mit_Brut.jpg?uselang=de , Download am 26.8.2016).....	95
Abbildung 44, Adultes Männchen einer Wolfsspinne. (Michael Hohner, 2008, GNU Free 1.2, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pardosa_lugubris_adult_male.jpg , Download am 25.8.2016).....	96
Abbildung 45, Augenanordnung einer Wolfsspinne. (Opoterser, CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wolf_eyes_for_guide.jpg?uselang=de , Download am 25.8.2016). 96	
Abbildung 46, Weibchen einer Wespenspinne. (Andreas Eichler, 2013, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2013.08.02.-07-Kirschgartshaeuser_Schlaege_Mannheim- Wespenspinne-Weibchen.jpg , Download am 25.8.2016).....	97
Abbildung 47, Gerandete Jagdspinne auf der Wasseroberfläche. (Tragopogon, 2012, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dolomedes_fimbriatus_Teuffen.JPG , Download am 25.8.2016) ...	98
Abbildung 48, Ein Weibchen der Braunen Krabbenspinne. (Andreas Eichler, 2014, CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2014.03.09.-17-Kaefertaler_Wald-Mannheim- Braune_Krabbenspinne-Weibchen.jpg , Download am 25.8.2016).....	99
Abbildung 49, Laufspinne in Schreckstellung. (Sarefo, 2008, GNU Free 1.2, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Philodromus_aureolus.male.6.jpg , Download am 25.8.2016).....	100
Abbildung 50, schwarze Springspinne auf einem Blatt. (Sarefo, 2007, GNU Free 1.2, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Evarcha_arcuata.male.1.jpg , Download am 25.8.2016)	101
Abbildung 51.....	102
Abbildung 52.....	102
Abbildung 53.....	102
Abbildung 54.....	102
Abbildung 55.....	103
Abbildung 56.....	103
Abbildung 57.....	103
Abbildung 58.....	103
Abbildung 59.....	104
Abbildung 60.....	104
Abbildung 61.....	104
Abbildung 62.....	104
Abbildung 63.....	105
Abbildung 64.....	105
Abbildung 65.....	105
Abbildung 66.....	105
Abbildung 67, Innere Organe einer Spinne. (bearbeitet nach: Ed. Hoelzel, http://94.247.146.63/bg1h/vomleben2/kap5/85-2_Bauplan_der_Spinnen.jpg , Download am 24.8.2015)...	107
Abbildung 68. (painter, 2009, http://www.supercoloring.com/de/ausmalbilder/spinne-25 , Download am 27.8.2016).....	108

Abbildung 69, © Reithofer.....	108
Abbildung 70. (aus Foelix, 2015).....	108
Abbildung 71. (aus Foelix, 2015).....	108
Abbildung 72. (aus Foelix, 2015).....	108
Abbildung 73. (bearbeitet nach Chuck Evans, 2007, CC BY-SA 3.0).....	108
Abbildung 74, Anatomie eines Radnetzes. (aus Foelix, 2015).....	111
Abbildung 75, Skizzen zum Netzbau.....	112
Abbildung 76.....	113
Abbildung 77.....	113
Abbildung 78.....	113
Abbildung 79.....	113
Abbildung 80.....	114
Abbildung 81.....	114
Abbildung 82.....	115
Abbildung 83.....	116
Abbildung 84.....	116
Abbildung 85.....	116
Abbildung 86.....	116
Abbildung 87, Spielfeld für das SPINNEN-ACTIVITY.	121
Abbildung 88, REM – Aufnahme der Augen einer adulten <i>C. salei</i> . AL = anterior lateral, AM = anterior median, PL = posterior lateral, PM = posterior median (aus Zopf, 2010).	137
Abbildung 89, 30 Laufstrecken von <i>C. salei</i> bei a) 513,9nm und b) 695nm. (aus Zopf, 2010).....	138

8 Zusammenfassung

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist es einen theoretischen und einen praktischen Bogen zwischen Forschung und Schule anhand des Themas „Spinnen“ zu spannen. Dazu wird im ersten Abschnitt der Arbeit auf die Anatomie, Ökologie und Verhaltensweisen von Spinnen eingegangen. Im zweiten Abschnitt steht die forschende, universitäre Arbeit mit der Spinne *Cupiennius salei* im Zentrum. Ein Modellversuch wird vorgestellt, um zu zeigen, wie an Universitäten und anderen Forschungseinrichtungen gearbeitet wird und welche Forschungsfragen dabei bearbeitet werden. Einen weiteren zentralen Punkt dieser Diplomarbeit bildet dann die Ausarbeitung von Arbeitsmaterial für die Schule, sodass auf der Grundlage von forschendem Lernen die zuvor theoretisch behandelten Themen im Schulunterricht aufgearbeitet werden können.

9 Summary

The goal of this diploma thesis is to create a theoretical and practical connection between current research at universities and schools, based on the topic “spiders“. Therefore, there is an overview of the most important facts about spiders’ anatomy, ecology and behaviour in the first chapter of this thesis. The second chapter is about current research at the University of Vienna, where the spider *Cupiennius salei* has been a research object since more than 30 years. A current experiment is presented to demonstrate how research at a university actually works and which key issues are addressed. Another important chapter in this diploma thesis is the teaching material, which is based on the theoretical facts discussed before. This teaching material should then provide a basis for observational learning in Austrian schools.