



# Wahrnehmung von echo-akustischem Fluss bei Menschen und Fledermäusen

Autorin: *Kathrin Kugler* / Projekt: *Wahrnehmung von echo-akustischem Fluss bei Menschen und Fledermäusen* / Art des Projektes: *Dissertation*

*Perception of echo-acoustic flow in humans and bats*

---

*KEYWORDS*

---

*Echolocation, human echolocation, blind people, bats, flow fields, sensory flow, navigation*



Flussfelder entstehen, wenn sich Objekte relativ zu einem Beobachter bewegen. Sie beinhalten Informationen über Veränderungen von unterschiedlichen Parametern über die Zeit, zum Beispiel darüber wie sich die Distanz oder der Winkel zwischen einem Objekt und einem Beobachter verändern. Mithilfe dieser Information kann der Beobachter z.B. die Bewegungsrichtung ableiten und vorhersagen, wann er mit dem Objekt kollidieren würde. Fledermäuse bewegen sich mithilfe von Echoortung mühelos und kollisionsfrei in kompletter Dunkelheit. Die Vermutung liegt nahe, dass sie dafür Informationen aus echo-akustischen Flussfeldern nutzen. Blinde Menschen sind ebenfalls darauf angewiesen Kollisionen mit Hindernissen zu vermeiden. In der Regel nutzen sie dazu einen Blindenstock. Dieser hat jedoch eine sehr geringe Reichweite. In diesem Forschungsprojekt sollte getestet werden, ob Menschen und Fledermäuse in der Lage sind echo-akustische Flussfeldinformation zu nutzen.

---

*Flow fields arise when objects move with respect to an observer. They contain information about changes in different parameters over time, e.g. about how the distance or the angle between an object and an observer change. Based on this information the observer can derive e.g. the direction of motion and thus predict the time of contact with the object. Bats use echolocation to navigate elegantly and swiftly through pitch darkness without collisions. It is logical to assume that they use echo-acoustic flow information. Blind people likewise aim to avoid colliding with obstacles. Usually they rely on their cane to do so. However, a cane can cover only a restricted range. This research project aimed to test if human beings and bats are capable to use echo-acoustic flow for navigation.*



In diesem Bericht möchte ich auf die interdisziplinäre Zusammenarbeit im Dissertationsprojekt zur Wahrnehmung von echo-akustischem Fluss bei (blinden) Menschen und Fledermäusen eingehen. Dazu werde ich zunächst beschreiben, wie der Dialog zwischen der Biologie und der Pädagogik zur Entstehung eines gemeinsamen Projektentwurfes führte, welche Anpassungen am Originalkonzept im Laufe des Projektes vorgenommen wurden und wie sich das auf den Verlauf des Projektes ausgewirkt hat. Speziell soll beleuchtet werden, wie die interdisziplinäre Zusammenarbeit geklappt hat, wo Schwierigkeiten auftauchten oder sich abzeichneten, was gut funktionierte und was eher nicht, welche Erkenntnisse durch das Zusammentreffen der beiden Disziplinen gewonnen wurden, was gescheitert ist und wie es dazu kam.

### Projektentstehung

Im Rahmen meines Biologiestudiums lernte ich diverse Felder der Biologie kennen. Eine besondere Faszination hat für mich die Neurobiologie, die unter anderem der Frage nachgeht, wie Tiere und auch wir Menschen unsere Umgebung durch die Sinnessysteme wahrnehmen, die uns zur Verfügung stehen. Sinnessysteme sind unser Fenster zur Außenwelt. Sie bestimmen, was – und wie wir es wahrnehmen. So nehmen Organismen die Umwelt unterschiedlich wahr, je nachdem auf welches Sinnessystem sie sich am meisten verlassen. Menschen gehören zu den Tieren, die sich vorwiegend auf ihr Sehsystem verlassen. Fledermäuse hingegen sind nachtaktiv und leben zudem oft in dunklen Höhlen, wo die Orientierung mittels visueller Information nicht möglich ist. Ihr Sehsystem steht ihnen dort also nicht zur Verfügung. Deswegen haben diese Tiere sich den Mechanismus der Echoortung zu eigen gemacht: sie stoßen sogenannte Echoortungslaute aus – Schallwellen im für uns nicht hörbaren Ultraschallbereich – und vergleichen diese mit den zurückkommenden Echos. Aus Unterschieden zwischen dem originalen Echoortungslaut und dem Echo extrahieren die Tiere Informationen über ihre Umgebung. Dazu haben Fledermäuse keineswegs ein zusätzliches Sinnessystem entwickelt. Sie verwenden ihr Hörsystem, das abgesehen von wenigen Spezialisierungen dem Standardhörsystem der Säugetiere entspricht. Obwohl wir also ein ähnliches Hörsystem haben wie Fledermäuse, ist es für uns schwer vorstellbar, wie diese Tiere die Umwelt wahrnehmen und sich orientieren. Allerdings gibt es ein paar wenige Ausnahmefälle: Daniel Kish ist wohl der bekannteste Repräsentant der menschlichen Echoortungsexperten<sup>1</sup>. Aufgrund bösartiger Tumore in der Netzhaut wurden ihm im Alter von 13 Monaten seine Augen entfernt. Vollständig blind kann er sich natürlich nicht auf sein Sehsystem verlassen. Stattdessen fing er im Kleinkindalter an

---

<sup>1</sup> <http://www.spiegel.de/spiegel/print/d-30977824.html>, <https://visioneers.org>



Klicklaute zu produzieren, die je nach dem, wie die Umgebung aufgebaut ist, Echos mit unterschiedlicher Qualität hervorrufen. Daniel Kish machte sich also unbewusst die Fähigkeit der Echoortung zu eigen und erlangte dadurch eine Form der Mobilität. Obwohl er mittlerweile als Perceptual Mobility Trainer diese Fähigkeit auch anderen beibringt, ist er einer von wenigen. Und so bleibt diese Fähigkeit den meisten blinden Menschen vorenthalten.

Sowohl für die Fledermäuse, als auch für menschliche Echoortung interessiert sich Professor Lutz Wiegrebe. In seiner Arbeitsgruppe an der LMU werden die beachtlichen Leistungen des Hör- bzw. des Echoortungssystems der Fledermäuse erforscht. Außerdem ist es eines der wenigen Labore, in dem menschliche Echoortung aus wissenschaftlicher Sicht unter die Lupe genommen wird. Diese Kombination von Forschungsthemen fand ich sehr interessant. Schnell war klar, dass Professor Wiegrebe für ein Forschungsprojekt, in dem die Echoortung von Fledermäusen und Menschen direkt miteinander verglichen werden sollte, zu begeistern war. Wir kamen überein, dass meine Dissertation daraus bestehen sollte, im Rahmen von psychophysikalischen Experimenten unterschiedliche Aspekte der Echoortung bei sehenden und blinden Menschen sowie bei Fledermäusen wissenschaftlich zu untersuchen. Die Performance der Fledermäuse, die aufgrund von Anpassungen in der Morphologie des Echoortungssystems und Anpassungen ihres Nervensystems Spezialisten für diese Sinnesmodalität sind, sollte hierbei als Referenz gelten. Zunächst würde das Auflösungsvermögen des jeweiligen Echoortungssystems quantifiziert werden. Anschließend würde die Fähigkeit zur Konturerkennung mittels sequenziellen Abscannens realer Formen getestet werden. Zu diesem Zwecke sollten menschliche Probanden sowie Fledermäuse im gleichem, technisch leicht umzusetzendem Versuchsaufbau aktiv echoorten und dabei reale Objekte voneinander unterscheiden.

Darüber hinaus war uns jedoch ein Anliegen, den Wert aktiver Echoanalyse zur Orientierung für blinde Menschen festzustellen. Da dies allerdings außerhalb der Expertise der Biologie liegt, haben wir uns an Professor Reinhard Markowetz am Lehrstuhl für Sonderpädagogik gewandt. Sein Enthusiasmus, bei einem solch innovativen Projekt die biologische Grundlagenforschung durch eine pädagogische Evaluation ergänzen zu können, war schnell geweckt. Denn auch wenn menschliche Echoortung aus biologischer Sicht geeignet wäre die Mobilität von blinden Menschen zu erhöhen, wäre damit nicht gezeigt, ob sich die Methode auch aus pädagogischer Sicht eignet, die Selbstständigkeit und die Mobilität von Blinden zu steigern. Die Experimente sollten also begleitet werden durch die sozialpädagogisch-soziologische Beurteilung der Humanechoortung als Orientierungshilfe für Blinde. Im Rahmen von fallorientierter, qualitativ ausgerichteter Wirksamkeits- und Evaluationsforschung sollte parallel zur biologischen Grundlagenforschung eine



Zulassungsarbeit oder eine zweite Promotion am Lehrstuhl für Sonderpädagogik entstehen. Dabei würden erkenntnisleitend die Lernprozesse der blinden Menschen sowohl im Experiment als auch im Alltag verfolgt werden.

Im Dialog zwischen Sonderpädagogik und Biologie war ein Schnittstellenprojekt geboren, welches keine der beteiligten Disziplinen für sich alleine methodisch oder inhaltlich in diesem Umfang adressieren könnte.

### **Projektfinanzierung**

Die erste Hürde für das Projekt zur Echoortung bei Menschen und Fledermäusen war, dass eine Finanzierung für dieses umfangreiche und ganzheitliche Projekt gefunden werden musste. Die Andrea von Braun Stiftung sagte mir großzügig eine Teilfinanzierung zu. Eine komplette Finanzierung war jedoch im Rahmen des Stiftungsbudgets nicht möglich. Nach kurzer Zeit wurde jedoch ein Projektantrag zur Wahrnehmung von echo-akustischem Fluss bei Fledermäusen bewilligt, den Professor Wiegrebe bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gestellt hatte. Die Andrea von Braun Stiftung und die DFG stimmten zu, die Finanzierung zusammenzulegen, um beide Projekte zu verbinden: statt der ursprünglich geplanten Experimente zur Formerkennung sollten nun Experimente zur Wahrnehmung von echo-akustischem Fluss bei Fledermäusen und Menschen durchgeführt werden, wie es im bewilligten DFG-Antrag vorgesehen war.

### **Durchführung der Experimente und Stolpersteine des Forschungsvorhabens**

Bei Fledermäusen sollte zu diesem Zweck getestet werden, wie die Tiere ihr Verhalten an verschiedene echoakustische Flussfelder anpassen und wie sie ihr Echoortungssystem einsetzen, um die Umgebung abzuscanen. Angelehnt an Versuche mit Wellensittichen zur Wahrnehmung von optischem Fluss<sup>2</sup>, wurden die Fledermäuse zu diesem Zweck zunächst dazu dressiert in einem Flugtunnel von einer Seite zur anderen zu fliegen, während der echo-akustische Fluss an den beiden Seitenwänden variiert werden konnte. Es zeigte sich, dass die Tiere ihre Flugpfade in Richtung der Seitenwand anpassen, die den schwächeren echo-akustischen Fluss produziert und dass die Tiere außerdem ihr Echoortungsverhalten an ihre Umgebung

---

<sup>2</sup> *Bhagavatula PS, Claudianos C, Ibbotson MR, Srinivasan MV. Optic flow cues guide flight in birds. Curr Biol. 2011 Nov 8;21(21):1794-9. doi: 10.1016/j.cub.2011.09.009. Epub 2011 Oct 27. PubMed PMID: 22036184.*



anpassen<sup>3</sup>. In einem weiteren Experiment konnten wir zeigen, dass unsere Fledermäuse während der Echoortung charakteristische Bewegungen mit ihren Außenohren und ihrem sogenannten Nasenblatt ausführen, die vermutlich dazu eingesetzt werden den Fokus und die Ausrichtung des Echoortungssystems dynamisch an die Umgebung anzupassen<sup>4</sup>.

Die Versuche zur menschlichen Echoortung konnten hingegen nicht in einer realen Umgebung durchgeführt werden. Um zu testen, wie blinde und sehende Probanden echoakustischen Fluss wahrnehmen, sollten im Gegensatz zu den Tierversuchen unterschiedliche Flussfeldsituationen virtuell präsentiert werden. Dies kann bewerkstelligt werden, indem die Echoortungslaute, die von den Probanden produziert werden, von einem Mikrofon aufgenommen und an einen Computer weitergeleitet werden. Die ankommenden Signale werden in Echtzeit so verändert, dass ein Echo zu den Echoortungslauten entsteht, welches einer bestimmten räumlichen Konfiguration von Objekten zum Probanden entspricht. Das so entstandene virtuelle Echo wird über Kopfhörer zurückgespielt. Diese Technik mit sogenannten virtuellen Objekten ist in der Vergangenheit erfolgreich bei Versuchen zur Echoortung bei Fledermäusen<sup>5</sup> und Menschen<sup>6</sup> eingesetzt worden. Diese Technik lässt sich allerdings umso schwieriger anwenden, wenn die Echos sehr schnell berechnet werden müssen oder relativ komplexe Umgebungen darstellen sollen. Dies ist allerdings bei der Simulation von echoakustischen Flussfeldern unumgänglich. In der Tat stellte sich heraus, dass eine Simulation dieses Szenarios nicht gleichzeitig realistisch klingen und schnell genug umgesetzt werden konnte. Auch nach mehreren Versuchen der Optimierung der Software als auch der Hardware im Versuchsaufbau konnte dieses Problem nicht behoben werden, und die Experimente zur menschlichen Echoortung konnten daher nicht durchgeführt werden.

---

<sup>3</sup> Kugler K, Greiter W, Luksch H, Firzlaff U, Wiegrebe L. Echo-acoustic flow affects flight in bats. *J Exp Biol.* 2016 Jun 15;219(Pt 12):1793-7. doi: 10.1242/jeb.139345. Epub 2016 Apr 4. PubMed PMID: 27045094.

<sup>4</sup> 1: Kugler K, Wiegrebe L. Echo-acoustic scanning with noseleaf and ears in phyllostomid bats. *J Exp Biol.* 2017 Aug 1;220(Pt 15):2816-2824. doi:10.1242/jeb.160309. PubMed PMID: 28768750.

<sup>5</sup> Schmidt, S. (1988). Evidence for a spectral basis of texture perception in bat sonar. *Nature*, 331(6157):617-9

<sup>6</sup> Schörmich S, Wallmeier L, Gessele N, Nagy A, Schraner M, Kish D, Wiegrebe L. Psychophysics of human echolocation. *Adv Exp Med Biol.* 2013; 787:311-9. doi: 10.1007/978-1-4614-1590-9\_35. Review. PubMed PMID: 23716237.



## **Interdisziplinäre Zusammenarbeit im Forschungsvorhaben und deren Gelingen**

Aufgrund der technischen Schwierigkeiten hat sich das direkte Zusammentreffen der Disziplinen Biologie und Sonderpädagogik im Forschungsprojekt zur Wahrnehmung von Echo-akustischem Fluss bei Menschen und Fledermäusen vorwiegend auf die Vorarbeit und Antragsstellung, sowie einige Treffen während des Projektes – und somit auf den theoretischen Teil und die Hypothesenbildung – beschränkt. Nichts desto trotz war jedes dieser Treffen sehr spannend, hat mich für verschiedene Themen sensibilisiert, die bei einer rein biologischen Herangehensweise untergegangen wären und hat mir viele Denkanstöße gegeben. Besonders prägend habe ich ein Doktorandenkolleg am Lehrstuhl von Professor Markowetz empfunden. Dort hatte ich die Möglichkeit, das angestrebte Forschungsprojekt einer für mich vollkommen neuen Audienz von Doktoranden der Pädagogik vorzustellen. Im Vorfeld wurde angekündigt, dass für jedes Projekt ein Slot von etwa 1,5 Stunden veranschlagt war. Hier zeigten sich die ersten Unterschiede in der (Kommunikations-)Praxis der beiden Disziplinen: aus meinem Studium der Biologie und auch von Fachkonferenzen war ich die Anweisung gewohnt, die von einer kurzen Diskussion gefolgt Vorträge möglichst knapp, präzise und punktgenau zu halten. Etwas nervös, ob ich den generösen Slot mit genügend Diskussionsmaterial füllen kann, begab ich mich zum Doktorandenkolleg. Die Zweifel stellten sich alsbald als vollkommen unbegründet heraus. Ich war überwältigt von dem Interesse, das die Audienz dem Projekt entgegenbrachte: Der Slot wurde sogar überzogen und ich war nach dem Doktorandenkolleg um viele wertvolle Diskussionen, Tipps und Verweise auf Fachliteratur reicher. Besonders erwähnenswert sind mir dabei die folgenden Diskussionspunkte in Erinnerung geblieben:

Einbeziehung des Charakterprofils des Probanden. Meinen pädagogischen Kollegen war bekannt, dass blinde Menschen und Menschen mit Sehbehinderung oftmals zu einem vorsichtigen und zaghaften, wenig explorativem Wesen neigen. Es ist klar, dass eine solche Charakteranlage Auswirkungen darauf hat, wie erfolgreich die Echoortung erlernt werden kann: das Erlernen dieser Technik erfordert viel Ausprobieren und Üben. Zudem handelt es sich bei der Echoortung um einen aktiven Sinn. So müssen ständig Echoortungslaute ausgesandt werden, um an Informationen zu gelangen.

Soziale Akzeptanz menschlicher Echoortung. Dass durch die fortwährende Lautproduktion die Aufmerksamkeit der Menschen in der Umgebung automatisch auf den Echoortenden geleitet wird, liegt in der Natur der Sache. Dies kann zur Folge haben, dass die echoortende Person entweder tatsächlich als seltsam auffallen könnte oder Ängste davor entwickelt als seltsam wahrgenommen zu werden. Blinde Menschen haben nicht die Möglichkeit Reaktionen in den Gesichtern der Anwesenden abzulesen. Daher wird offenbar oft vorgezogen so wenig wie möglich aufzufallen.



Altersabhängiger Erfolg beim Erlernen von Echoortung. Die oben genannten Punkte legen die Vermutung nahe, dass der Erfolg für das Erlernen und auch der Anwendung der Echoortung variiert. Wenn das Training im Kindesalter beginnt, wird es vermutlich einfacher sein, die blinden Kinder dazu zu animieren Echoortung auszuprobieren und zu üben, da die vorsichtige und zurückhaltende Art da noch am wenigsten ausgeprägt ist und sich erst über die Zeit manifestiert. Außerdem können so leichter die Ängste vor der sozialen Ablehnung von Echoortung umgangen werden, da sich Kinder erfahrungsgemäß weniger Gedanken über Probleme solcher Art machen.

Zusätzlich wurde auch vorgeschlagen, dass man trotzdem adressieren sollte, wie die menschliche Echoortung von den sehenden Mitmenschen aufgenommen wird. Es wurden auch die Fragen angestoßen, wie man blinde Menschen am besten dazu motivieren kann, sich die Echoortung als Methode zur autonomen Navigation zu Nutze zu machen. Ist es unter blinden Menschen überhaupt erwünscht, näher an die Performance von Sehenden heran zu kommen? Falls die Methode von den blinden Menschen angenommen wird, wie wirkt sich die gesteigerte Mobilität auf ihr Wesen aus?

### **Schwierigkeiten bei der Interdisziplinären Zusammenarbeit**

Wie bereits erklärt waren die größten Schwierigkeiten des Forschungsprojekts technischer Natur. Die ursprünglich geplanten Experimente zur Konturerkennung wären technisch leicht durchführbar gewesen. Die Abänderung des Versuchsparadigmas für die Versuche zur menschlichen Echoortung, die notwendig wurde, um das Projekt finanzieren zu können, hat uns jedoch gezwungen eine technisch weitaus aufwändigere Methode zu implementieren, die letztendlich mit dem uns zur Verfügung stehenden Equipment nicht angewendet werden konnte. Festzustellen, dass die Simulation nicht realistisch ist, ist an sich schwierig, wenn man keine Vorstellung hat, wie sich eine zu simulierende akustische Szene anhören würde. Diesbezüglich hatten wir das außergewöhnliche Glück, dass Daniel Kish, der blinde Echoortungsexperte, die Zeit und die Möglichkeit fand sich die Simulation anzuhören. Er berichtete einzelne Objekte, die wir simulierten, hören zu können. Jedoch konnte er sie nicht lokalisieren. Daraufhin unternahmen wir den Versuch statt mit vollständig simulierten Objekten mit „akustischen Momentaufnahmen“ von Objekten zu arbeiten. Leider führte auch diese Herangehensweise nicht zu dem gewünschten Ergebnis und nach mehreren Jahren mussten wir die entsprechenden Experimente aufgeben.

Eine potenzielle Schwierigkeit, die jedoch in der Zeit der interdisziplinären Zusammenarbeit keine Probleme bereitet hat, sind die grundsätzlich sehr verschiedenen Arbeitsweisen der involvierten Disziplinen: in der biologischen Grundlagenforschung wird penibel darauf





geachtet, dass die Experimente sehr kontrolliert und standardisiert stattfinden, um möglichst objektive Ergebnisse zu bekommen. In der Pädagogik hingegen wird stark darauf geachtet, was die Folgen von individueller Veranlagung sind, und es wird auch stark auf das Individuum eingegangen. Es wurde an mich herangetragen, dass es in der Pädagogik problematisch ist, experimentell zu arbeiten oder überhaupt von einem Experiment zu sprechen. Stattdessen spricht man hier lieber von qualitativer Forschung, und im Allgemeinen werden viele Dinge bei der Erforschung von Menschen als ethisch kritisch gesehen, zum Beispiel dass ein Mensch zur kontrollierten Durchführung akustischer Experimente für deren Dauer in einer Kammer von den Störgeräuschen der Außenwelt isoliert werden soll. In der Praxis hingegen hatte ich nicht den Eindruck, dass dies ein wirkliches Problem darstellt, da statt Ablehnung eher Enthusiasmus aufkam, wenn ich von dem Projekt berichtete. So habe ich sogar Anfragen von interessierten Pädagogen bekommen, die sich freiwillig in eine solche Kammer bewegen wollten, um zu erfahren, wie es sich anfühlt ein solches Experiment mitzumachen.

### **Positive Erlebnisse während der interdisziplinären Zusammenarbeit**

Im Verlauf des Forschungsprojektes gab es viele Erfolge und positive Erlebnisse. Zunächst ist natürlich der Erfolg der Experimente zur Grundlagenforschung zu nennen. Diese haben gezeigt, dass echo-akustischer Fluss zur Navigation genutzt werden kann. Auf jeden Fall von Fledermäusen. Ob echo-akustischer Fluss jedoch auch von Menschen zur kollisionsfreien Navigation genutzt werden könnte, bleibt leider weiterhin unklar.

Aber auch im Teilprojekt zur menschlichen Echoortung gab es sehr positive Erlebnisse und Erkenntnisse. Als sehr bereichernd habe ich es empfunden, dass ich innerhalb des Projektes Kontakt und Dialog mit drei sehr außergewöhnlichen blinden Menschen finden konnte: die beiden Mobilitätstrainer und Echoortungsexperten Daniel Kish und Juan Ruiz sowie die ehemalige Biathletin und aktuell Behindertenbeauftragte der Bundesregierung Deutschland, Verena Bentele. Alle drei habe ich als sehr engagierte, angenehme und intelligente Persönlichkeiten wahrgenommen, die ihr Wissen und ihre Erfolgsstrategien auch gerne mit anderen teilen. Jeder von Ihnen hat betont, dass es besonders wichtig ist, die blinden Menschen zur Exploration zu animieren und von der Angst zu befreien sich zu bewegen. Dies ist nach den Erzählungen meiner Ansprechpartner leider ein Problem für viele Eltern blinder Kinder, da sie befürchten ihrem Kind könnte etwas zustoßen und es könnte sich verletzen.

Dies bestärkt mich in der Annahme, dass es wichtig wäre, dass blinde Menschen am besten in jungen Jahren die Möglichkeit bekommen sollten, ohne Verletzungsrisiko für die Navigation in der echten Welt zu trainieren. Dies kann entweder in geschützter Umgebung



passieren oder in einer virtuellen Umgebung, die ich leider nicht realitätsgetreu simulieren konnte. Ich hoffe jedoch, dass auch weiterhin Interesse am Thema der menschlichen Echoortung besteht und dass mit besseren technischen Möglichkeiten eine Umsetzung unserer Ideen gelingen wird. Die Erfahrung, dass ich für mich den Dialog mit den Kollegen aus der Pädagogik als extrem bereichernd für eine ganzheitliche Betrachtung der Thematik empfunden habe und dass umgekehrt auch die Rückmeldung aus der Pädagogik zu den Experimenten durchwegs positiv war, zeigt mir, dass der Ansatz für das Forschungsprojekt richtig und zeitgemäß ist.



## Curriculum Vitae

### **Kathrin Kugler**

	Ausbildung
2013–2017	Promotion an der Fakultät für Biologie der Ludwig-Maximilians-Universität München
2006–2011	Studium der Biologie an der LMU, Abschluss zur Diplombiologin
	Beruflicher Werdegang
12/2013– 10/2017	Wissenschaftliche Mitarbeiterin mit Promotionsvorhaben
08–11/2013	Klinikum der Universität München, Deutsches Schwindel- und Gleichgewichtszentrum, Großhadern
06–11/2013	Max-Planck-Institut für Ornithologie, Seewiesen
10/2012– 05/2013	Klinikum der Universität München, Deutsches Schwindel- und Gleichgewichtszentrum, Großhadern
05–10/2012	LMU, Department Biologie II, Abteilung für Neurobiologie, Martinsried
09–12/2010	Max-Planck-Institut für Neurobiologie, Martinsried