

renzsetzungen nachvollziehbar zu machen und auf ihren relationalen, verschränkten und somit auch intra-aktiven Charakter aufmerksam zu machen.

8.4 Su-Keene et al.: Simulated climate warming modulates testicular RNA expression

Als letztes habe ich die Studie »Simulated climate warming and mitochondrial haplogroup modulate testicular small non-coding RNA expression in the neotropical pseudoscorpion, *Cordylocheres scorpoides*« für das diffraktive Lesen ausgewählt, in der anders als in den beiden vorherigen keine Nagetiere untersucht wurden und der Fokus nicht auf den Muttertieren lag. Entschieden habe ich mich für eine Forschungsarbeit, die eine spezielle Art von Pseudoskorpionen (*Cordylocheres scorpoides*) darauf untersuchte, ob erhöhte Außentemperatur eine reduzierte Reproduktionsfähigkeit der Männchen hervorruft.²⁸ Die simulierte Klimaerwärmung ist der Umwelteffekt, den die Forschenden hier untersuchten. Es ist von »hot« und »cool environment« (Su-Keene et al. 2018: 1; 2) die Rede und Umweltbedingungen gelten als epigenetische Veränderungen herbeiführend. Besonders ist an dieser Studie, dass die Forschenden nicht nur explizit benennen, dass sie für ihre Untersuchungen den Umwelteffekt Klimaerwärmung simulierten, sondern auch die Labortiere – »[e]xperimental pseudoscorpions« (vgl. ebd.: 9) – dafür herstellten. Diese spezifische Konstellation des Labors ermöglicht ein diffraktives Lesen, durch das ich zeigen kann, dass neben den Pseudoskorpionen die RNAs als zentrale Phänomene in der Studie hervorgebracht werden. In der Rekonfiguration der Pseudoskorpione und der simulierten Klimaeffekte werden zudem im Erwähnen von natürlich vorkommenden Populationen und Gegebenheiten und von im Labor geschaffenen Bedingungen und Populationen naturkulturelle Verschränkungen deutlich. Dass Relata und Phänomene nie vor oder ohne Relationen existieren, offenbart sich besonders eindrücklich in der Rolle der RNA, die hier nicht bloß als Mittlerin konstituiert wird, sondern komplexe Netzwerke von Epigenetik, Klima, Reproduktion, mitochondrialer DNA und Pseudoskorpionen anzeigt. Darin ist ein anderes Verständnis von Kausalität angelegt, das nicht einer linearen Logik unterliegt.

Die Studie ist 2018 in der Zeitschrift *Environmental Epigenetics* erschienen und dreizehn Seiten lang. Davon umfassen etwa vier Seiten Fotos, Diagramme und Tabellen und das Literaturverzeichnis zwei Seiten. Verfasst wurde die Studie von fünf Personen: Eleanor J. Su-Keene, Michael V. Padua, David W. Zeh und Jeanne A. Zeh

28 Pseudoskorpione sehen Skorpionen ähnlich, sind aber nicht mit ihnen verwandt und bilden eine eigene Ordnung der Spinnentiere.

arbeiten am Department für Biologie der Universität Nevada in Reno (USA). Su-Keene ist zudem am Department of Educational Leadership and Research Methodology der Florida Atlantic University tätig. David und Jeanne Zeh sowie Melvin M. Bonilla arbeiten im Graduate Program in Ecology, Evolution and Conservation Biology der Universität Nevada in Reno. Bonilla ist außerdem am Department of Organismal Biology and Anatomy der University of Chicago beschäftigt und Padua an der Reno School of Medicine der Universität Nevada. Die Studie ist in die üblichen Abschnitte unterteilt, deren Inhalte ich nun vorstelle.

»Abstract«

Su-Keene et al. referieren zu Beginn ihrer Studie auf Theorien, nach denen Gliederfüßler in tropischen Regionen durch Klimaerwärmung großen Risiken ausgesetzt sind. Die Stoffwechselgeschwindigkeit in ektothermen, das heißt wechselwarmen Tieren würde exponentiell zur Temperatur ihrer Umwelt steigen (vgl. ebd.: 1). Sie berichten von zwei aktuellen Studien, die den neotropischen²⁹ Pseudoskorpion *Cordylocheres scorpioides* (*C. scorpioides*) unter simulierter Klimaerwärmung untersuchten. Dies wirke sich auf Überleben, Körpergröße und geschlechtliche Unterschiede aus, besonders aber auf die Fruchtbarkeit. Su-Keene et al. selbst untersuchten die Effekte von erhöhter Temperatur auf epigenetische Regulation »in the context of naturally occurring variation in mitochondrial DNA« (ebd.). Ihre Ergebnisse würden darauf hinweisen, dass durch erhöhte Temperaturen die Expression von mehr als 60 sncRNAs im Hodengewebe von Pseudoskorpionen verändert ist. Die epigenetischen Veränderungen könnten so die Reproduktionsfähigkeit männlicher Tiere beeinträchtigen. Su-Keene et al. vermuten zudem, dass epigenetische Regulationen die Mehrgestaltigkeit der mitochondrialen DNA³⁰ so beeinflussen, dass diese die Möglichkeit bieten, auf die Klimaerwärmung zu antworten (vgl. ebd.: 2).

»Introduction«

In der Einleitung stellen Su-Keene et al. zunächst einige biologische Prozesse und Phänomene vor und führen dabei zahlreiche Studien an. Sie gehen davon aus, dass Klimaerwärmung schwere Folgen für Stoffwechselprozesse habe (vgl. ebd.). Su-Keene et al. betonen, dass Mitochondrien eine fundamentale Rolle für den Stoffwechsel spielen und »an important determinant of evolutionary responses to rising

29 Neotropisch bezeichnet die Zugehörigkeit zu Tropen in Mittel- und Südamerika (vgl. Wahrig-Burfeind 2007: 667).

30 Mitochondriale DNA (mtDNA) ist die DNA, die sich in Mitochondrien befindet. Mitochondrien sind Zellorganellen, die in fast allen Zellen vorkommen. Sie spielen eine Rolle für die Atmungskette (vgl. Gray 2013: 430). »DNA polymorphism« (Su-Keene et al. 2018: 2) bezeichnet die Varianz oder Mehrgestaltigkeit von DNA-Sequenzen.

temperatures« (ebd.) seien. Zusätzlich, so die Autor_innen, gäbe es immer mehr Hinweise darauf, dass epigenetische Modifikationen ein kritischer Faktor dafür seien, wie Populationen sich an schnelle Umweltveränderungen anpassen.

Im Zusammenhang mit dem Gerüst der DNA stehe ein System vererbbarer epigenetischer Marker. Diese »epigenetic marks mediate the developmental pattern, tissue specificity and environmental context of gene expression« (ebd.). Eine relevante nicht-kodierende RNA (ncRNA), die die Genexpression reguliere, sei die microRNA (miRNA). Im Gegensatz dazu seien piwi-interacting RNAs (piRNAs) in Keimdrüsen stark exprimiert. Beide werden in der Studie untersucht.

Der Pseudoskorpion ist »a model tropical ectotherm for investigating mitochondrial and epigenetic responses to climate warming« (ebd.). Die Varianz mitochondrialer DNA-Sequenzen sei sehr groß und bei vorherigen Sequenzierungen wurden drei verschiedene Abstammungslinien identifiziert: Eine Gruppe bestand überwiegend aus Individuen, die aus Zentralpanama (A) stammen, und zwei Abstammungsgemeinschaften kamen aus West-Panama (B1 und B2). Weitere Forschungen hatten gezeigt, dass die beiden Haplogruppen³¹ A und B2 sich in der Expression spezifischer mitochondrialer Gene unterscheiden, so die Autor_innen. Vorherige Studien hätten zudem bereits verdeutlicht, dass Klimaerwärmung die Reproduktion der Pseudoskorpione negativ beeinflusse. Erhöhte Temperatur würde vor allem während der Entwicklung die Größe der Tiere, die Ausprägung der Unterschiede zwischen den Geschlechtern und das Überleben betreffen. Stärker noch sei die Anzahl der Spermien beeinträchtigt, was dazu führe, dass die Hälfte der Tiere unfruchtbar werde.

Im letzten Absatz der Einleitung geht es um den Aufbau der Studie: Die Forschenden untersuchten die Effekte erhöhter Temperatur und natürlicher mitochondrialer Variation auf die sncRNA-Expression im Hodengewebe der Pseudoskorpione *C. scorpoides*. Dafür wurde der Nachwuchs von je fünf Weibchen mit den Haplogruppen A und B2 nach der Geburt zufällig der Kontrollgruppe (C) oder der Gruppe zugeordnet, die hohen Temperaturen ausgesetzt war (H). Klimaerwärmung wurde in der H-Gruppe simuliert, indem die Tiere in einer 3,5°C wärmeren Umgebung aufgezogen wurden als die Kontrollgruppe. Die Analysen hätten gezeigt, dass 70 miRNAs und 14 piRNAs »were significantly differentially expressed (DE) in response to either temperature or mitochondrial haplogroup.« (ebd.) Su-Keene et al. ziehen daraus den Schluss, dass zerrissene (»disrupted«) epigenetische Profile, die von Klimaerwärmung betroffen sind, Störungen der Reproduktionsfähigkeit in männlichen *C. scorpoides* verursachen. Zudem vermuten sie, dass Variationen in mitochondrialer DNA durch ihre Effekte auf die Expression von sncRNA

31 Als Haplogruppe fasst man eine Gruppe von Haplotypen zusammen. Haplotypen bezeichnen Individuen, Populationen oder Arten, die das gleiche Set an Allelen an einem bestimmten Ort auf einem Chromosom haben (vgl. Bergstrom 2001: 911).

Potenziale für eine »adaptive evolutionary response to climate warming« (ebd.: 3) bieten könnten.

»Results«

Die Ergebnisse fallen mit einer halben Seite knapp aus. Zunächst beschreiben Su-Keene et al., wie sie mit einer Software piRNAs und miRNAs untersuchten. Dabei fanden sie heraus, dass miRNAs häufiger exprimiert waren als piRNAs (vgl. ebd.). Anschließend erörtern Su-Keene et al., dass die Temperatur signifikante, aber gegensätzliche Effekte auf die miRNA- und piRNA-Expression ausübe. Bei den miRNAs würde die gesamte Expression bei erhöhter Temperatur um 37 % steigen. Im Gegensatz dazu verringere sich die piRNA-Expression um 32 %. Rund zwölf Prozent der miRNAs seien durch die erhöhte Temperatur signifikant anders exprimiert. Aber im Unterschied zur insgesamten Zunahme von miRNA-Expression war eine Mehrzahl der anders regulierten miRNAs bei hoher Temperatur signifikant herabreguliert (vgl. ebd.). Auch bei den piRNAs würde sich dieses Muster der Herabregulierung bei hoher Temperatur zeigen. Abschließend benennen Su-Keene et al. die Effekte der mitochondrialen Haplogruppen auf die Expression der sncRNA. Sechs miRNAs und acht piRNAs seien signifikant anders exprimiert zwischen den Haplogruppen (vgl. ebd.).

»Discussion«

Der Diskussionsteil umfasst sechs Seiten. Davon sind fast vier Seiten mit Grafiken und Tabellen versehen. Su-Keene et al. fassen hier zunächst zusammen, dass in den beiden Haplogruppen A und B2 die Expression der sncRNA im Hoden stark von simulierter Klimaerwärmung und natürlicher mitochondrialer Variation beeinflusst sei. Temperatur habe signifikante Effekte auf die Expression von 64 miRNAs und sechs piRNAs. Der Großteil der signifikant anders exprimierten miRNAs sei in hohen Temperaturen weniger exprimiert. Das ist »causally linked to *C. scorpoides*' spermatogenic disruption at high temperature« (ebd.).

In den nächsten Abschnitten erwähnen Su-Keene et al. zwei Einschränkungen der Studie: Zunächst sei es wichtig darauf hinzuweisen, dass es keine öffentlich verfügbare sncRNA-Datenbank gebe, die Informationen zum Genom des Pseudoskorpions *C. scorpoides* beinhaltet, weshalb die »ability to detect significant temperature and haplogroup effects, particularly in the case of piRNAs« (ebd.: 5) eingeschränkt sei. Das könne erklären, warum die Forschenden nicht so oft piRNAs fanden. Über miRNAs in Tieren wisse man mehr und in ihrer Studie seien miRNAs häufiger, weniger variabel und eher anders exprimiert. Insgesamt hätten die Pseudoskorpione *C. scorpoides* ein großes und komplexes Genom.

Su-Keene et al. formulieren eine weitere Einschränkung: »our experimental design did not permit determination of the precise mechanism of temperature-de-

pendent differential expression in testes.« (ebd.) Hoden bestünden aus zahlreichen Keim- und Körperzelltypen und die durch Temperatur veränderte Expression könne sowohl durch Veränderungen der sncRNA-Expression auf zellulärer Ebene als auch von Veränderungen in der zellulären Zusammensetzung der Hoden ausgelöst sein. Die genauen Mechanismen, die die von Temperatur beeinflusste Expression in Hoden betreffen, seien unbekannt. Su-Keene et al. vermuten, dass der Anteil verschiedener Spermazellen in den Hoden der Männchen, die hohen Temperaturen ausgesetzt waren, reduziert sei. Diese Interpretation passe zu der signifikant reduzierten Anzahl an Spermien bei Männchen in hohen Temperaturen, die nur 43 % des Spermias der Männchen der Kontrollgruppe ausstießen.

Im nächsten Absatz schreiben Su-Keene et al., dass der Einfluss mitochondrialer Variation auf epigenetische Regulation bisher kaum bekannt sei. Man wisse hingegen, dass Mitochondrien stark in die Etablierung epigenetischer Zustände involviert seien »and through the synthesis of cofactors associated with active de/methylation and de/acetylation« (ebd.).

Die natürlich vorkommende mitochondriale Variation führe weniger zur veränderten Expression der sncRNAs als erhöhte Temperatur. Trotzdem sei die veränderte Expression in ihrer Studie aufgrund der mitochondrialen Haplogruppe im Ausmaß extremer gewesen, so die Autor_innen (vgl. ebd.). Die Koexistenz der zwei unterschiedlichen Haplogruppen A und B2 in Zentralpanama sei vor allem deshalb faszinierend, weil die Haplogruppe einen starken Effekt »on sperm competitive ability« (ebd.: 7) habe. Experimente hätten gezeigt, dass B2-Männchen 264 % mehr Nachfahr_innen zeugten als A-Männchen. Ob die unterschiedliche Expression der sncRNAs damit zusammenhänge, sei noch zu untersuchen.

Im weiteren Verlauf werfen Su-Keene et al. die grundlegende Frage auf, ob veränderte epigenetische Regulation die »adaptive evolution« (ebd.: 9) verstärke oder behindere. Epigenetische »Mutationen« seien wichtiger für Anpassungen als genetische Mutationen.³² Andere Studien hätten dies in Zusammenhang mit Fitness gezeigt und hierbei sei deutlich geworden, dass »epigenetische Mutationen« besonders relevant seien für »early responses to environmental change« (ebd.). Vor allem für Vögel, Fische und Säugetiere habe man dies gezeigt.

Dies alles weise nur auf einen Bruchteil der möglichen Folgen epigenetischer Vererbung von evolutionären Dynamiken hin, so Su-Keene et al. im darauffolgenden Absatz. Eltern würden Umwelt-Altlasten vererben, indem sie epigenetische

32 Es sei daran erinnert, dass Mutationen sich eigentlich auf die Veränderung der DNA beziehen und daher genetisch sind. Anders ist es bei epigenetischen Modifikationen, die nicht die DNA selbst verändern und reversibel sind, wie ich in Kapitel 2 ausgeführt habe. Dies ist vermutlich der Grund, warum die Autor_innen die Bezeichnung »epigenetische Mutationen« in einfache Anführungszeichen setzen.

Veränderungen in Eiern und Spermien weitergeben. Der adaptive Wert transgenerationaler »phenotypic plasticity« sei ein Kompensator umweltbedingter Veränderungen.³³

Abschließend merken Su-Keene et al. an, dass nicht alle intergenerationellen epigenetischen Effekte der Anpassung dienen. Dies hätten Studien mit Menschen und Modellorganismen gezeigt (vgl. ebd.). Sind Organismen extremen Umweltbedingungen ausgesetzt, kann dies komplizierte Prozesse stören, die in die epigenetische Regulation der Genexpression involviert sind. Sie schließen das Kapitel mit der Aufforderung, in zukünftigen Studien die Bedingungen zu identifizieren, unter denen epigenetische Modifikationen die »adaptive response to environmental challenges« (ebd.) erleichtern beziehungsweise erschweren.

»Conclusion«

Es folgt eine wenige Sätze umfassende Schlussfolgerung. Su-Keene et al. halten fest, dass »chronic heat stress« zu Veränderungen im epigenetischen Profil der Hoden führe und dies zumindest teilweise für eine reduzierte Reproduktionsfähigkeit verantwortlich sei. Der mitochondriale DNA-Polymorphismus liefere durch die Effekte epigenetischer Regulation eine Möglichkeit »for an adaptive evolutionary response to climate warming« (ebd.). Ihre Studie habe insgesamt große Relevanz, um die Folgen des Klimawandels für globale Biodiversität zu verstehen, so die Autoren.

»Materials and Methods«

Su-Keene et al. beschreiben zunächst die Zusammensetzung der Versuchstiere. Diese erhielten sie aus einer großen Laborpopulation, für die 2006 und 2008 an sechs verschiedenen Orten Zentralpanamas Pseudoskorpione gesammelt wurden. Um die Effekte der Klimaerwärmung und mitochondrialer Haplogruppen auf die sncRNA-Expression zu untersuchen, nutzten sie 40 Nymphen von fünf A- und fünf B2-mitochondrialen Haplogruppen-Weibchen und teilten diese zufällig der Kontrollgruppe (C) oder der Gruppe zu, die erhöhter Temperatur ausgesetzt war (H).

Anschließend erörtern Su-Keene et al., dass sie je fünf Familien pro Haplogruppe zufällig auswählten, um Hodengewebe und RNA zu entnehmen. Um genügend RNA zu erhalten, wurden die Hoden von vier jungen Männchen in jeder der zehn Familien zusammen untersucht. Weiter führen sie aus, wie die Männchen gehalten, die Hoden entfernt und die RNA gereinigt wurde.

Schließlich werden die Instrumente vorgestellt, mit denen Su-Keene et al. die RNA analysierten. Wie die RNAs vorbereitet, sequenziert und unterschieden wur-

33 Im Kern geht es bei der phänotypischen Plastizität darum, dass Nachkomm_innen die Folgen von Umwelteinflüssen zwar erben können, aber sich diesen in gewisser Weise auch anpassen (s. 2.2).

den, führen sie breit aus. Erläutert wird dann, mit welcher Software die sncRNA-Expression untersucht und welche technischen Schritte und Daten dabei verwendet wurden. Zuletzt geht es darum, welche statistische Software dabei zum Einsatz kam. Su-Keene et al. führten die statistische Analyse durch, »to examine the effects of temperature increase, mitochondrial haplogroup and temperature x haplogroup interactions on sncRNA expression.« (ebd.: 10, 11)

8.4.1 Verschränkungen

Anders als bei den anderen beiden Studien beginne ich das diffraktive Lesen hier mit der Analyse von Verschränkungen. Bei Su-Keene et al. (2018) habe ich ausschließlich eine Art der Verschränkung gefunden, die ich als naturkulturell bezeichne. Da damit eine Besonderheit der Studie angesprochen wird, die sich an der expliziten Bezeichnung der Labortiere als experimentelle Pseudoskorpione entfaltet, stehen die Verschränkungen am Anfang des diffraktiven Lesens. Die naturkulturellen Verschränkungen artikulieren sich zudem in der Formulierung »simulated climate warming«, wie ich nun ausführe.

Naturkulturelle Verschränkungen

Die Autor_innen dieser Studie trennen in ihrer Untersuchung Pseudoskorpione, die im Feld leben, von denen, die sie im Labor züchteten. Außerdem unterscheiden sie die Temperaturerhöhung durch Klimaerwärmung in Panama von der simulierten Temperaturerhöhung im Labor. Das entspricht dem gängigen Vorgehen experimenteller naturwissenschaftlicher Studien. Knorr-Cetina hat in ihren Laborstudien herausgearbeitet, dass Labore weder die natürlichen Eigenschaften von Untersuchungsobjekten beachten (müssen), noch die natürlichen Rhythmen, Zyklen und Habitate, in denen Tiere ursprünglich leben (vgl. Knorr-Cetina 1995: 106). Knorr-Cetina beobachtete, dass Tiere und andere Untersuchungsobjekte aus ihrer ursprünglichen Umgebung herausgenommen und »realzeitliche Ergebnisse« (Knorr-Cetina 2002: 53) im Labor simuliert werden.³⁴ Natürliche Objekte werden im Labor geformt und für die Untersuchung optimiert, was sie in Anlehnung an Maurice Merleau-Ponty »Rekonfiguration« (Knorr-Cetina 1995: 105) nennt. Interventionen und experimentelle Manipulationen seien gängige Verfahrensweisen im

34 Knorr-Cetina interessiert das spezifische Herausnehmen von Forschungsobjekten aus natürlicher Umgebung. Auch Latour verfolgt in seinen Arbeiten jene Prozesse und versucht die Schritte damit verbundener Transformationen nachzuvollziehen. Beispielsweise will Latour verstehen, wie es von Bodenstichproben im Amazonas zu Diagrammen und einer publizierten Arbeit kommt: »Der unermeßliche Abgrund zwischen den Dingen und den Worten ist an allen Punkten durch solche kleinen Abgründe wie dem zwischen der Bodenprobe und dem Schachtelcode des Pedokomparators geprägt. Was für eine Transformation, was für ein Transport, welche Deformation, Erfindung, Entdeckung!« (Latour 2002: 64)

Labor und so würden Studien nicht daran gemessen, ob sie besonders naturgetreu forschten (vgl. Knorr-Cetina 2002: 57).

In Studien, auf die Knorr-Cetina sich bezieht, findet sich wie auch bei Su-Keene et al. (2018) somit die Trennung von Natur und Kultur. Bei Su-Keene et al. schreibt sich diese Trennung jedoch nicht bloß weiter, sondern löst sich auch auf und beide Sphären werden als verschränkt begreifbar. Dazu führe ich zwei Beispiele an. Weder die Tiere noch die Bedingungen im Labor sind einfach der künstlichen Seite zuzuordnen. Vielmehr werden beide als naturkulturelle Verschränkungen denkbar, in denen auch die Feldtiere und die Klimaerwärmung weiter fortgeschrieben werden.

Erstens unterscheiden Su-Keene et al. Pseudoskorpione aus der »laboratory population« von »field-collected matriline« (Su-Keene et al. 2018: 9). Die eine ist die im Labor gezüchtete, die andere eine natürlich vorkommende Population. In dieser Anordnung sind beide getrennt voneinander. Doch was als Gegensatz in der Studie konzipiert ist, gehört untrennbar zusammen. Das Sammeln von Tieren in der Natur und das Züchten zahlreicher Generationen im Labor spiegelt naturkulturelle Verschränkungen wider, so meine Lesart. Aus den im Feld gesammelten Tieren entstehen (später) die Labortiere, ein gängiges Vorgehen. Die Grenze von Natur und Labor wird in den verschiedenen Bezeichnungen gesetzt. Zugleich wird die Unterscheidung in den »[e]xperimental pseudoskorpions« (ebd.) aufgelöst. So ist es möglich, die natürlichen und die künstlich hergestellten Tiere nicht als voneinander getrennt, sondern als miteinander verschränkt zu benennen.

Diese Verschränkung zeigt sich zweitens in folgendem Zitat: »Climate warming effects were simulated in the high temperature treatment by elevating the average temperature 3.5°C above the control temperature, which was estimated from [...] *C. scorpioides*‘ native habitat in central Panamá.« (ebd.: 2) Su-Keene et al. versuchen, die Bedingungen der natürlichen Habitate in die Laborsituation zu übertragen. Es ist nicht die RNA der Tiere, die in Panama gesammelt wurden, die schließlich untersucht wird, sondern die RNA der im Labor gezüchteten Pseudoskorpione. Die Temperatur, denen einige Tiere im Labor ausgesetzt werden, orientiert sich an der in Panama. Das wird als simulierte »climate warming effects« bezeichnet. In der Untersuchung von Su-Keene et al. (2018) zeigen sich Verschränkungen zwischen Raumtemperatur im Labor, Klimaerwärmung und den natürlichen Habitaten der Pseudoskorpione. Jene drei Aspekte laufen in den untersuchten Labortieren zusammen und die Benennung »simulated climate warming« drückt diese naturkulturelle Verschränkung aus. Su-Keene et al. bezeichnen die Versuchsbedingungen im Labor als simuliert und somit künstlich, aber eben auch als Klimaerwärmung und nicht als Temperaturerhöhung. Es handelt sich also um eine Simulation, die aber mit den natürlich vorkommenden Verhältnissen verbunden ist. In jener Bewegung des Differenzierens und Nicht-Differenzierens wird die Verschränkung von Labor und Natur erneut deutlich.

Diese Anordnungen artikulieren sich in weiteren Formulierungen. Die Bezeichnung »simulated climate warming« ist zumeist im Zusammenhang mit mitochondrialer Haplogruppe oder DNA zu finden. Temperatur und mitochondriale DNA gelten als die sncRNA-Expression der Pseudoskorpione verändernd. An zwei Stellen der Studie scheint beides gegenübergestellt. Und während die erhöhte Temperatur als künstlich gilt, wird die Variation der mitochondrialen DNA als natürlich bezeichnet: »simulated climate warming« und »naturally occurring variation in mitochondrial DNA« (Su-Keene et al. 2018: 1). Doch beides nehme Einfluss auf die RNA-Expression, so die Autor_innen. Daher argumentiere ich, dass sich auch hier naturkulturelle Verschränkungen zeigen. So lese ich beides nicht als in zwei gegensätzliche Sphären gehörend, sondern verschränkt als naturkulturelle Einflüsse. Barad plädiert für eine Analyse, durch die Soziales und Natürliches zusammengedacht werden können (vgl. Barad 2007: 25). Dieses Potenzial bietet die Studie von Su-Keene et al. (2018), da hier mehrfach zusammengeführt wird, was gegensätzlich angeordnet scheint: simulierte Klimaerwärmung und natürliche Habitate oder simulierte Klimaerwärmung und natürlich auftretende Varianz mitochondrialer DNA. Die Vorstellung, Natur sei von Sozialem zu trennen, erweist sich hier als unpassend. Die erwähnten Zitate deuten vielmehr auf ihre Verschränkungen hin. Ordnen Su-Keene et al. Labortiere und -bedingungen mit der Bezeichnung »[e]xperimenal pseudoscorpions« und »simulated climate warming« getrennt von ihren natürlichen Vorläufern ab, so werden die damit verbundenen naturkulturellen Gegenüberstellungen obsolet. Dadurch eröffnet die Studie die Möglichkeit zusammenzudenken, was klassischerweise als gegensätzlich gilt. So wird eine Gegennarration plausibel, durch die Differenzsetzungen wie Natur/Kultur an Überzeugungskraft verlieren und andere Anordnungen stärken, die auf die Verschränktheit und Intra-aktivität von Forschungsprozessen und anderen welthervorbringenden Praxen (s. 6.1) aufmerksam machen.

8.4.2 Phänomene

Nach Barad sind Phänomene nicht bloß das Ergebnis von Laborbedingungen und Forschungspraxen, die von Menschen ausgeführt werden, sondern von komplexen agentiellen Intra-aktionen und Schnitten (vgl. Barad 2007: 140). Die involvierten Apparate, Versuchsbedingungen und grenzziehenden Praxen sind es, die zur Konstituierung der Phänomene führen und nicht als ausschließlich menschengemacht misszuverstehen sind. Über diese ist in der Studie von Su-Keene et al. (2018) insbesondere im Kapitel »Material and Methods« zu lesen. Hier konstituieren sich zahlreiche Phänomene. Deutlich wird vor allem die Rekonfiguration der Labortiere, die Su-Keene et al. ganz explizit machen. Diesen Aspekt, der eine Besonderheit der Studie darstellt, habe ich bereits unter Verschränkungen diskutiert. Nun be-

trachte ich ihn unter der Frage, welche Phänomene durch welche Schnitte konstituiert werden.

Pseudoskorpione

In der Studie materialisieren sich verschiedene Pseudoskorpione zu Phänomenen. In den ersten Sätzen des Abschnitts zu Material und Methoden werden diverse Pseudoskorpione unterschieden: »Experimental pseudoscorpions were drawn from a large laboratory population established from 350 *C. scorpoides* adults and nymphs collected in 2006 and 2008 from six locations spanning a 60 km region in central Panamá.« (Su-Keene et al. 2018: 9) Dadurch, dass die Forschenden bestimmte Tiere auswählen, diesen Prozess beschreiben und die Labortiere dann als experimentelle Pseudoskorpione bezeichnen, werden zahlreiche Schnitte deutlich, die zu unterschiedlichen Phänomenen führen. Es gibt eine große Laborpopulation, die aus 350 *C. scorpoides* gezüchtet wurden und die zu verschiedenen Zeitpunkten an mehreren Orten in einer Region Zentralpanamas lebten. Daraus beziehen Su-Keene et al. die »[e]xperimental pseudoscorpions« (ebd.). Sie beschreiben die Aufzucht der Tiere und unterscheiden dabei weitere Pseudoskorpione (vgl. ebd.). In den Beschreibungen des Züchtens und Auswählens der Versuchstiere werden zudem mehrere Generationen erwähnt.

Differenziert werden explizit Labortiere von Tieren aus dem Feld, die in ihrer natürlichen Umgebung lebten. Durch Beschreibungen wie in den obenstehenden Zitaten, werden Schnitte deutlich, durch die verschiedene Pseudoskorpione als Entitäten erscheinen. Anhand dieser Schnitte, die ich als zeitliche und räumliche charakterisiere, wird es möglich, die Tiere nicht als gegebene Entitäten, sondern als Phänomene zu begreifen, die in der Untersuchung rekonfiguriert werden: In zwei verschiedenen Jahren wurden junge und alte Tiere an sechs verschiedenen Orten gesammelt. Auch im Labor sind spezifische Orte relevant, denn die Labortiere wurden in »individual vials« (ebd.) aufgezogen. Es waren zwar Forschende, die die Tiere sammelten und im Labor züchteten, doch können die Versuchstiere nur von den Pseudoskorpionen aus dem Feld unterschieden werden, weil auch zeitliche und räumliche Bedingungen sie als unterschiedliche Phänomene mit hervorbringen. Ich lese sie daher als Schnitte, die daran beteiligt sind, dass sich der *C. Skorpoides*, Labortiere, junge und alte Pseudoskorpione sowie mehrere Generationen als Phänomene konstituieren.

An der Bezeichnung »split-brood experimental design« werden Versuchsbedingungen erkennbar, anhand derer weitere Spuren hervortreten, die auf Körpern hinterlassen sind. Gemeint ist damit die getrennte Aufzucht, durch die Labortiere in verschiedenen Bedingungen aufwuchsen: Es wurden zwei Haplogruppen unterschieden und eine Kontrollgruppe von einer Gruppe, die erhöhten Temperaturen

ausgesetzt war. So bilden sich weitere Phänomene wie »A males« und »B2 males« (ebd.: 7) sowie »high temperature males« und »control males« (ebd.: 5).

In diesen Formulierungen aus der Studie ist die Möglichkeit enthalten, Pseudoskorpione als Phänomene im Werden zu verstehen und nicht bloß als ein Unterscheiden verschiedener Populationen durch die Forschenden zu betrachten. Die Pseudoskorpione artikulieren sich dann weder als natürlich gegebene Entitäten noch als bloß künstlich hergestellte Labortiere. Vielmehr entfalten sich die Praxen des Unterscheidens – zum Beispiel durch Sammeln oder Züchten – als Intra-aktionen, die Schnitte erlassen und so zu Phänomenen führen.

Zahlreiche Phänomene konstituieren sich hier und viele sind daran agentiell beteiligt, zum Beispiel (Proto-)Nymphen, mitochondriale Haplogruppen und Temperatur. Das Phänomen Temperatur konstituiert sich (ebenfalls) im Verschränken naturkultureller Bedingungen. Das wird in der Beschreibung der Kontrolltemperatur deutlich, die sich an täglichen Langzeit-Beobachtungen der Temperatur und den niedrigsten und höchsten Werten in Zentralpanama orientiert (vgl. ebd.: 9, 10). Auch hier sind zeitliche und räumliche Schnitte beteiligt. Temperatur ist für die Untersuchung ein wesentlicher Bestandteil, um Effekte und Unterschiede zu erforschen. Es ist unter anderem die Außentemperatur, die Spuren auf den Körpern hinterlässt. Su-Keene et al. schlussfolgern, dass die Unterschiede in der Expression einiger miRNAs und piRNAs mit der erhöhten Temperatur zusammenhängt, denen die Tiere der H-Gruppe ausgesetzt waren. Im diffraktiven Lesen wurde eine Anordnung sichtbar, nach der es nicht allein die Temperatur ist, sondern mit ihr auch Haplogruppen, Klimaerwärmung und die Pseudoskorpione, die dazu führen, dass verschiedene Gruppen von Tieren als Phänomene erscheinen. Welche weiteren Spuren auf Körpern durch Versuchsbedingungen wahrnehmbar und welche Phänomene dadurch konstituiert werden, wird vor allem in den Beschreibungen der RNA-Sequenzierung deutlich.

RNAs

Weitere Phänomene sind Hoden(-gewebe) und insbesondere diverse RNAs, wobei die Haplogruppen und Temperaturen häufig erwähnt werden. Beides ist sehr präsent, wenn Su-Keene et al. ihr Vorgehen erläutern: Männchen wurden eingefroren, Hoden chirurgisch entfernt, Hodengewebe seziiert und RNA extrahiert sowie gereinigt. Indem verschiedene Arbeitsschritte und vor allem Materialien genannt sind, werden einige Versuchsbedingungen offenkundig: »liquid nitrogen« oder »PureLink® miRNA Isolation Kit in combination with a PureLink® RNA Mini Kit (ThermoFisher Scientific, Waltham, MA, USA)« (ebd.: 10). Mit Hilfe dieser und weiterer Arbeitsschritte treten schließlich unterschiedliche RNAs hervor. So kann auch hier deutlich werden: Es ist nicht allein das Bezeichnen durch die Forschenden, sondern es sind komplexe Intra-aktionen, die Forschungspraxen als grenzziehende Praxen

greifbar machen. Das Bezeichnen und Unterscheiden ist nicht bloß menschliche Praxis. Es sind zwar die Forschenden, die auseinanderhalten wollen, doch sind es auch die »sample identities«, »Ion ExpressTM RNA-Seq Barcodes« und »manufacturer's protocols« (ebd.), die intra-agieren.

Mit der expliziten Nennung einer bestimmten Anzahl an piRNAs und miRNAs, die zudem als »distinct« bezeichnet sind, werden Schnitte deutlich, die zu unterschiedlichen RNAs führen. Beteiligt daran sind zum Beispiel eine Software, 20 kleine RNA-Bibliotheken und Hodengewebe (vgl. ebd.: 3). Dadurch, dass die Anzahl von miRNAs und piRNAs in absoluten und auch in Prozentzahlen genannt ist, werden nicht nur miRNAs von piRNAs unterschieden, sondern auch innerhalb jeder RNA-Art nochmals differenziert. Dass das zu weiteren Phänomenen führt, kann dieses Zitat verdeutlichen: »Most noteworthy were the miRNAs, mdo-miR-1547-5p, bmo-let-7-3p, hsa-miR-3116, mdv2-miR-M14-5p and bmo-miR-6496-3p, which were abundantly expressed at the control temperature but strongly downregulated at high temperature« (ebd.). Vier andere miRNAs werden etwas später hervorgehoben. Mit Hilfe von Temperatur, Expression oder Haplogruppe werden verschiedene RNAs auseinandergeschnitten und mit komplizierten Namen versehen zu Phänomenen. Diese Anordnung distanziert sich ebenfalls von der Vorstellung, es gäbe Entitäten mit feststehenden Eigenschaften und Grenzen, die beforscht werden können. Stattdessen wird die speziesübergreifende Intra-aktivität des Forschungsprozesses erkennbar.

Schnitte sind im agentiell realistischen Sinne nicht bloß Unterschiede, die beispielsweise die Forschenden machen, wenn sie Pseudoskorpionen und RNAs verschiedene Namen geben. Vielmehr geht es hier um ein Ziehen von Grenzen, das zu spezifischen Phänomenen führt und an dem vieles beteiligt ist. Die Grenzen und Eigenschaften der Phänomene sind also agentiell intra-aktiv konstituiert. Um erkennen und benennen zu können, wer daran Teil hat, bin ich immer wieder den Spuren nachgegangen, die Versuchsbedingungen auf Körpern hinterlassen (vgl. Barad 2015a: 45). Bei Marty et al. ((2016), s. 8.3) waren diese vor allem dort präsent, wo die Durchführung der Verhaltenstests beschrieben wurde. Vergleichbares ist in der Studie von Su-Keene et al. (2018) nicht zu finden, weil es sehr wenig darum geht, wie die Pseudoskorpione behandelt wurden, als sie noch lebten. Einige Tiere wurden in wärmerer Umgebung aufgezogen als andere. Mehr ist über die »model simulations« (Su-Keene et al. 2018: 9) kaum geschrieben. Ausführlich geht es aber darum, was mit dem biologischen Material der toten Tiere passierte, vor allem mit dem Hodengewebe und der RNA. Die Spuren, die hier also primär deutlich werden, sind die des Extrahierens und Sezierens, durch die spezifische miRNAs und piRNAs sowie Hodengewebe als Phänomene hervorgebracht werden.

Einige andere Faktoren wie »sperm« (ebd.: 5), »microbiome« oder »host cells« (ebd.: 7) werden einmal im Diskussionsteil genannt. Doch da diese Beispiele keine Hinweise auf Versuchsbedingungen oder Apparate geben, ist es mir nicht möglich,

weitere Schnitte nachzuvollziehen, und ich belasse es bei den dargestellten Phänomenen. Die Phänomene, die unverkennbar in der Studie zu Tage treten, sind die verschiedenen Pseudoskorpione sowie unterschiedliche RNAs. Vor allem zeitliche und räumliche Schnitte führen dazu, dass zahlreiche Pseudoskorpione als Phänomene erscheinen. Da auch viele RNAs unterschieden und spezifiziert werden, konnte ich diese als durch intra-aktive Forschungspraxen hervorgebrachte Phänomene beschreiben. In der Studie von Su-Keene et al. (2018) ist also auch das Potenzial enthalten, die Forschungsobjekte als un/bestimmt, sich immer wieder konstituierend und verschränkt mit anderen Phänomenen aufzufassen und nicht als separate Einheiten. Das hat zur Folge, die Forschungsobjekte weder als statisch noch als getrennt von Forschungssubjekten zu begreifen. Die Studie hält somit auch eine Perspektivverschiebung bereit, die mit einem klassisch realistischen Versuchsaufbau bricht. Mit einem agentiell realistischen Blick entfalten sich die untersuchten Pseudoskorpione und RNAs als un/trennbar von anderen Komponenten und Agencies der Studie, wodurch mit einem menschlichen Exzeptionalismus gebrochen wird. Diffraktiv gelesen mit Barad, werden die Pseudoskorpione und RNAs gleichermaßen als Resultate und Agencies im Forschungsprozess deutlich.

8.4.3 Relationen

Mit dem Aufzeigen zentraler Phänomene der Studie im vorangegangenen Abschnitt wurde stellenweise schon deutlich, dass an ihrer Konstituierung zahlreiche Elemente beteiligt sind. Daran wird die Relationalität spezifischer materieller (Re-)Konfigurationen erkennbar. Erst durch diese Relationen treten Phänomene und Relata mit bestimmten Grenzen und Eigenschaften hervor (vgl. Barad 2007: 139). Das wird auch in der Studie von Su-Keene et al. (2018) ersichtlich, wie die vermittelnden Begriffe ›mediate‹ und ›transmitted‹ sowie die Positionen der RNA zeigen. Zu Tage treten keine abgeschlossenen Entitäten mit festen Positionen, sondern fluide Relationen. Dadurch wird in dieser Studie zudem ein lineares Verständnis von Kausalitäten gestört.

Vermittelnde Begriffe

Von den vermittelnden Begriffen, die ich bei der Auswahl der Studien (8.1) als Suchkriterien angewendet habe, sind zwei (›mediate‹ und ›transmitted‹) bei Su-Keene et al. (2018) zu finden, die Relationalität und die Verbindung von Elementen ausdrücken, die eher als weit entfernt voneinander gelten. Dadurch hält diese Studie auch eine Anordnung bereit, nach der nicht von Entitäten mit feststehenden Grenzen und Positionen auszugehen ist, sondern von Phänomenen, die sich immer wieder rekonfigurieren und in heterogenen Relationen materialisieren.

Im Diskussionsteil schreiben die Forschenden: »Other modelling frameworks assume [...] that parents bestow an environmental legacy on offspring by transmit-

ting acquired epigenetic changes through eggs and sperm.« (Su-Keene et al. 2018: 9) Nach dem Modell erblicher epigenetischer Veränderungen wird davon ausgegangen, dass Eltern ein Umwelt-Erbe an die Nachkomm_innen weitergeben. Epigenetische Veränderungen würden durch Umwelteinflüsse entstehen und Eltern diese gewissermaßen an die nächste(n) Generation(en) vermitteln. Zudem benutzen Su-Keene et al. den Ausdruck »transmission« (vgl. ebd.). Auch hier beziehen sie sich auf die Weitergabe epigenetischer Effekte an die nächste(n) Generation(en). Die Vermittlung des epigenetischen Status wird als durch Stress ausgelöst beschrieben.

Barad schreibt: »it is possible for entangled relationalities to make connections between ›entities‹ that do not appear to be proximate in space and time.« (Barad 2007: 74, H.i.O.) Relational betrachtet, drückt sich in dem obigen Zitat der Studie etwas ganz Ähnliches aus. Denn hier werden die Relationen zwischen verschiedenen Räumen (Umwelten) und Zeiten (mehrere Generationen) deutlich. Die Klima- und Erderwärmung, der die Pseudoskorpione in Panama ausgesetzt sind, führt zu epigenetischen Veränderungen, die weitergegeben werden an die zukünftige(n) Generation(en). In der Studie werden daher Relationen zwischen verschiedenen Küstenabschnitten Panamas, Laboren in den USA, unterschiedlichen Jahren und mehreren Generationen von Pseudoskorpionen, Eiern und Spermien deutlich, die all die genannten Phänomene hervorbringen.

Su-Keene et al. nutzen zudem den vermittelnden Begriff ›mediate‹. In der Einleitung schreiben sie: »epigenetic marks mediate the developmental pattern, tissue specificity and environmental context of gene expression.« (Su-Keene et al. 2018: 2) Auch im ersten Zitat waren epigenetische Veränderungen relevant, doch waren es die Eltern, die etwas weitergeben. Bei diesem Zitat scheinen die epigenetischen Markierungen zu vermitteln, und zwar Entwicklungsmuster, Gewebespezifität und den Umweltkontext der Genexpression. Es werden erneut Relationen deutlich, die »epigenetic marks«, »tissue specificity« oder »gene expression« mit hervorbringen.

Dadurch, dass die epigenetischen Markierungen als vermittelnd beschrieben werden, nehmen sie eine Position dazwischen ein. Damit werden ebenfalls Verbindungen zwischen Entitäten wahrnehmbar, die zeitlich und räumlich weit entfernt voneinander scheinen, wie Barad schreibt (vgl. Barad 2007: 74). In epigenetischen Veränderungen – in dieser Studie modifizierte RNA-Expressionen – sind erhöhte Außentemperatur und reproduktive Dysfunktionen bei den Pseudoskorpionmännchen verschränkt (vgl. Su-Keene et al. 2018: 1). Aber nicht nur diese stehen in Verbindung, sondern auch die Vielgestaltigkeit der mitochondrialen DNA (vgl. ebd.: 2), Spermien (vgl. ebd.: 4), RNA (vgl. ebd.: 7), Umwelt und Evolution (vgl. ebd.: 9) werden im Zusammenhang mit epigenetischen Prozessen erwähnt. Darin artikuliert sich die Relationalität dieser ganz unterschiedlichen Phänomene.

Zwei weitere Male ist von »temperature-mediate« (ebd.: 5; 8) die Rede. Beide Male wird die Temperatur als Veränderungen vermittelnd beschrieben, die zu ver-

schiedenen Expressionen von sncRNA führen. Im ersten Satz vermittelt die Temperatur den Rückgang differenzierter Spermazellen. Im zweiten Zitat ist es die veränderte Zusammensetzung des Mikrobioms³⁵ der Pseudoskorpione, die durch Temperatur vermittelt wird. In allen Zitaten kommen immer wieder die gleichen Phänomene vor: Umwelt und Temperatur, epigenetische Veränderungen und Spermazellen. Bei jeder Nennung ist die Anordnung der Phänomene aber eine andere. Das bedeutet, dass die einzelnen Elemente verschiedene Positionen einnehmen. So ist es mal die Elterngeneration, mal die Temperatur, mal epigenetische Veränderung, die vermittelt und entsprechend sind andere Komponenten um sie positioniert. Daran wird deutlich, dass es sich nicht um je separate Entitäten handelt oder um inhärente Relata, die in festen Zusammenhängen zu anderen stehen. Vielmehr ist durch die vermittelnden Begriffe in der Studie eine andere Sichtweise angelegt: Relationen und Phänomene werden immer wieder konfiguriert. Deutlich wurde dies, weil diverse Relationen zu Tage treten. Das weist darauf hin, dass weder Phänomene noch ihre Relationen zueinander feststehend und unveränderlich sind. Diesen Befund führe ich im folgenden Abschnitt aus.

RNA als Mittlerin

Eines meiner Ergebnisse aus der Pilotphase (4. Kapitel) war, dass RNA in epigenetischer Forschung oftmals eine Mittlerinnenposition einnimmt. Bei Su-Keene et al. (2018) wird mit der RNA als Mittlerin aber ein Netzwerk eingeführt und somit ein lineares Verständnis von Kausalität gestört.

RNA wird im Kontext der drei Zitate, in denen »mediate« vorkommt, ebenfalls erwähnt. Außerdem kommt RNA bereits im Titel vor und wird unzählige Male in der Studie genannt. Zudem werden viele verschiedene RNAs unterschieden (s. 8.4.2). Dadurch wird deutlich, dass RNAs eine zentrale Rolle für die Studie spielen und mit vielen anderen Phänomenen in Zusammenhang gebracht werden. Da sie keineswegs immer an der gleichen Stelle zu finden und in ein eindeutiges Ursache-Wirkungs-Verhältnis einzuordnen sind, hält die Studie auch eine andere Lesart bereit. Im folgenden Satz werden die zentralen Phänomene der Untersuchung genannt und in spezifische Zusammenhänge gesetzt:

»these results suggest that disrupted epigenetic profiles may account for climate-warming induced reproductive dysfunction in male *C. scorpioides*, and that mitochondrial DNA variation, through its effects on the expression of sncRNAs, may provide the potential for an adaptive evolutionary response to climate warming.« (ebd.: 2, 3)

35 Das Mikrobiom bezeichnet die Gesamtheit aller Mikroorganismen, die in einem Organismus zu finden sind (vgl. Sadava et al. 2019: 2047).

In seiner Komplexität macht dieses Zitat die verschränkten Relationen sichtbar. Epigenetik, Klima, Reproduktion, mitochondriale DNA, RNA-Expression, Evolution und Pseudoskorpione finden hier Erwähnung. Im Versuch, ein komplexes Gefüge in Einzelteile auszdifferenzieren, treten sie als Relata hervor. Wie das zuvor Ausgeführte aber zeigte, sind die Relata nicht immer gleich und die einzelnen Phänomene nehmen verschiedene Positionen ein. Daher bietet die Studie auch die Möglichkeit, die Un/Bestimmtheit der Phänomene zu betonen, die keine fixen Entitäten mit festen Eigenschaften und Grenzen sind. Das bedeutet auch, dass RNA, Klimaerwärmung oder Pseudoskorpione als Relationen begreifbar werden und sich gegenseitig mit hervorbringen. Es sind globaler Klimawandel, Temperaturanstieg in Panama und simulierte Klimaerwärmung im Labor, die epigenetische Veränderungen erzeugen und so in ihrer Verbindung die Reproduktionsfähigkeit von Pseudoskorpionen beeinflussen und gemeinsam mit mitochondrialer DNA auf Evolution und Umwelt antworten. Diese Anordnung verweist nicht einfach auf die Komplexität des Untersuchungsgegenstands der Studie, sondern darauf, dass dieser un/verfügbar ist. Die Relationen stören die Vorstellung eines forschenden Blicks von oben oder außen (vgl. Haraway 1995d), von dem aus alles zu ordnen und zu bestimmen wäre.

Weitere Formulierungen weisen auf die Relationen hin, die zu den erwähnten Phänomenen und Relata führen. Durch Begriffe wie »networks« oder »interactions« setzen Su-Keene et al. nicht bloß verschiedene Aspekte in Zusammenhang, sondern veranschaulichen, dass die RNA hier mehr als eine Vermittlerinnenrolle einnimmt. Die Funktionen von miRNAs erklärend, erläutern die Autor_innen zu Beginn ihrer Studie die Komplexität und Tragweite ihrer regulatorischen Netzwerke. Diese beträfen umfangreiche Prozesse (vgl. Su-Keene et al. 2018: 2). Hier werden multiple Relationen hervorgehoben. Außerdem untersuchten Su-Keene et al. die spezifischen Verbindungen von Haplogruppen und Temperatur und ihren Einfluss auf sncRNA-Expression. Dabei sprechen sie zweimal von »interactions« (ebd.: 3; 11). Im Versuch, das Verhältnis von Temperatur(-erhöhung), Haplogruppe und sncRNA-Expression zu begreifen, werden die Grenzen und Eigenschaften dieser Phänomene immer wieder neu gesetzt: Ein Zusammenhang wird vermutet, aber als nicht signifikant beschrieben. Die Phänomene scheinen mal distanziert und unabhängig voneinander, mal verbunden, wie zum Beispiel in der Schreibweise »temperature x haplogroup interactions« (ebd.: 11).

An diesen Zitaten zeigt sich etwas, was Barad im Gegenentwurf zum traditionellen Verständnis von Kausalität formuliert: »Causality is an entangled affair: it is a matter of cutting things together and apart (within and as part of phenomena).« (Barad 2007: 394) Dass durch die Untersuchungen von Su-Keene et al. (2018) Phänomene und Relata intra-aktiv hergestellt werden, bedeutet also auch, dass sie immer wieder ins Verhältnis zueinander gesetzt werden. Ihre Relationalität ist untrennbar daran geknüpft. Im Untersuchen und Beschreiben der Zusammenhänge

in der Studie werden diese Bewegungen deutlich, die Barad als Zusammen- und Auseinander-Schneiden beschreibt. Das artikuliert sich in den zitierten Stellen, anhand derer ich diskutiert habe, dass die einzelnen Phänomene immer wieder andere Positionen einnehmen.

Die Stellen, an denen Su-Keene et al. selbst von kausal sprechen, überlagern sich ebenfalls mit einem agentiell realistischen Verständnis von Kausalität. Einmal gelten die Unterschiede zwischen Haplogruppen in der Expression der sncRNAs als kausal verbunden mit Unterschieden im mitochondrialen Genom (vgl. Su-Keene et al. 2018: 3). Bei der zweiten Nennung wird die Reduktion der miRNA-Expression als kausal verbunden mit der gestörten Spermatogenese der *C. scorpoides* bei warmer Temperatur charakterisiert (vgl. ebd.). Es treten all die Phänomene hervor, die bereits mehrfach angeführt wurden und wieder sind unterschiedliche Relationen erkennbar. So beinhaltet die Studie auch die Option, die Untersuchungen der Pseudoskorpione als kausale Praktiken zu bezeichnen, durch die Grenzen und Eigenschaften der Phänomene rekonfiguriert werden.

Barad schreibt: »The ongoing reconfigurings of its bodily boundaries and connectivity are products of iterative causal intra-actions – material-discursive practices – through which the agential cut between ›self‹ and ›other‹ (e.g., ›surrounding environment‹) is differentially enacted« (Barad 2007: 376, H.i.O.). Was Barad auf den Schlangensterne³⁶ bezieht, fand ich auch in der Studie: So sind die Umwelten, hier zum Beispiel verschiedene Küstenabschnitte in Panama, das Labor in den USA oder die Außentemperatur, an der (Re-)Konfiguration verschiedener Pseudoskorpione beteiligt. Und die diversen Relationen, die in der Studie sichtbar werden, ermöglichen es zu hinterfragen, ob das Verhältnis von und die Grenzen zwischen selbst und anderen immer schon klar und getrennt sind. Denn die Haplogruppen, RNAs, ihre Expression und die Pseudoskorpione werden einzeln benannt und untersucht. Somit scheint es sich um separate Phänomene zu handeln. Und doch artikulieren sie sich als un/trennbar. Schließlich macht die Studie sie ebenfalls als Relationen sichtbar.

Die Zitate haben gezeigt, dass alle Aspekte der Studie in der Untersuchung auseinander- und zusammengeschritten werden, was daran erkennbar wurde, dass sie immer wieder andere Positionen einnehmen. Es war somit möglich, auf die verschränkte Relationalität und Intra-aktivität aufmerksam zu werden, die Barad als Gegenkonzept zum traditionellen Verständnis von Kausalität vorschlägt und die ich anhand der vermittelnden Begriffe, die vermeintlich weit Entferntes als miteinander verbunden präsentierten, sowie der Rolle der RNA als Netzwerk offenbart.

36 In Kapitel 6.4 ist nachzulesen, was Barad anhand des Schlangensterne verdeutlicht.

8.4.4 Un/Bestimmtheiten

Ich beende das diffraktive Lesen, in dem ich Barads Un/Bestimmtheiten mit den Stellen der Studie durch einander hindurch lese, an denen Unsicherheiten und Wissenslücken erwähnt werden. Obwohl in dieser Studie so explizit wie in keiner zuvor von experimentellen Labortieren und simulierten Umwelteinflüssen gesprochen wird (s. 8.4.1 und 8.4.2), scheinen die Forschenden auch an die Möglichkeit vollständiger Aufklärung und wissenschaftlichen Fortschritts zu glauben. Hierin artikuliert sich die Gleichzeitigkeit von bestimmt und unbestimmt. Die Suche nach Agencies und den ›abilities to respond‹ in dieser Studie zeigt zudem, dass sich nicht eindeutig bestimmen lässt, wer hier die Fähigkeit zu antworten hat.

Wissenslücken und Erkenntnisfortschritt

Su-Keene et al. erwähnen Wissenslücken, argumentieren aber, dass diese irgendwann gefüllt werden könnten. Hierin zeigt sich zunächst ein gängiges Verständnis von wissenschaftlichem Fortschritt, der vermeintlich zur Ergründung aller Fragen und Unklarheiten führt. Die Forschenden rücken aber auch davon ab und andere Bewegungen werden deutlich – besonders dort, wo auf die Komplexität und Tiefe des untersuchten Phänomens verwiesen wird und das bisherige Wissen als Spitze des Eisbergs titulierte ist.

Viele Formulierungen in der Studie weisen darauf hin, dass Su-Keene et al. davon ausgehen, Forschungsobjekte ergründen und mit den richtigen Methoden naturwissenschaftlicher Prozesse und Mechanismen aufklären zu können. Ergebnisse anderer Untersuchungen scheinen Informationen geliefert zu haben, auf die Su-Keene et al. sich berufen können. Es ist ein »growing body of theory and empirical evidence« (Su-Keene et al. 2018: 2) zu verzeichnen. Die Forschenden scheinen anzunehmen, dass immer mehr Erkenntnisse gesammelt und Unklarheiten aufgedeckt werden. Darin spiegelt sich die Vorstellung eines Erkenntnisfortschritts wider, der zur vollständigen Aufklärung und Bestimmbarkeit führen kann. Dies zeigt sich auch in zwei Einschränkungen, die Su-Keene et al. für ihre Studie formulieren. Im Diskussionsteil führen sie zunächst aus, dass das Fehlen von Daten zum Genom der *C. scorpioides* es notwendig machte, auf öffentlich zugängliche Datenbanken zurückzugreifen, und insgesamt wenig Daten für piRNAs vorlägen (vgl. ebd.: 5). Zweitens räumen sie ein, dass das experimentelle Design der Studie keine Bestimmung präziser Mechanismen erlaube (vgl. ebd.). Beide Einschränkungen führen Su-Keene et al. vermutlich als Gründe dafür an, dass sie ihre Forschungsfragen nicht vollständig und exakt beantworten konnten. Das impliziert, dass mit mehr Wissen über das Genom und anderen experimentellen Bedingungen mehr Antworten zu finden wären.

Zudem erwähnen Su-Keene et al. mehrfach die Notwendigkeit weiterer Forschungen. Das macht wiederum deutlich, dass es viele Wissenslücken gibt. Diese drücken sich auch in Hinweisen auf die Komplexität des Untersuchungsgegenstands aus. Su-Keene et al. schreiben, dass die *C. scorpioides* ein besonders großes und komplexes Genom hätten, das demnach schwer zu bestimmen sei (vgl. ebd.). Ähnliches bringt auch dieses Zitat zum Ausdruck: »model discussed above represents only the tip of the iceberg with respect to the possible consequences of epigenetic inheritance for evolutionary dynamics.« (ebd.: 9) Die Autor_innen räumen also auch die Schwierigkeit ein, die Folgen epigenetischer Vererbung zu bestimmen.

Hierin artikulieren sich auch die Unmöglichkeit, jemals etwas komplett zu bestimmen, und eine Perspektive jenseits von wissenschaftlichem Erkenntnisfortschritt. Denn die Darstellung großer Komplexität und immenser Wissenslücken ermöglicht ebenso eine Lesart, die nicht methodische Schwächen als ursächlich begreift. Hier eröffnet sich eine weitere Erklärung, wenn die Grenzen des Bestimmens und Aufdeckens durch Forschende mit Barads Konzept onto-epistemologischer Un/Bestimmtheit begründet werden. Der Hinweis auf die Untiefen und die Mannigfaltigkeit möglicher Folgen epigenetischer Vererbung für evolutionäre Dynamiken steht im Widerspruch zur Vorstellung, eine vollständige Aufklärung sei durch weitere Forschungen möglich. Das bisherige Wissen über potenzielle Folgen epigenetischer Vererbung (für evolutionäre Dynamiken) als Spitze des Eisbergs zu bezeichnen, drückt das große Unwissen aus. Es ist ebenso möglich, dass niemals der restliche, unter Wasser liegende Teil des Eisbergs an die Oberfläche gerät und somit alles erforscht wird. Vergleicht man die Spitze eines Eisbergs und den verborgenen, viel größeren Teil unter Wasser mit einander und betrachtet die einzelnen Elemente des letztgenannten Zitates wie die epigenetische Vererbung, über die weiterhin fachliche Kontroversen geführt werden (s. 2.2), und die Bandbreite evolutionärer Dynamiken, so erscheint die Vorstellung, mit mehr Forschung alles klären zu können, kühn. Su-Keene et al. geht es um einen spezifischen und sehr begrenzten Aspekt dieser Zusammenhänge, da sie ausschließlich Klimaerwärmung und ihre Folgen auf ein spezielles Tier aus einer Region untersuchen. Das Verhältnis ihrer Frage zur Hoffnung, die (allgemeine) Bedeutung epigenetischer Vererbung für evolutionäre Dynamiken zu ergründen, ist ähnlich wie das der Spitze des Eisbergs zu seiner Gesamtgröße. Die Wissenslücken sind im Vergleich zum bekannten Wissen, das die Studie von Su-Keene et al. oder andere Studie(n) liefern, immens.

Obwohl sich der Glaube an wissenschaftlichen Fortschritt bei Su-Keene et al. (2018) abzeichnet, bewegen sie sich davon auch immer wieder weg, wenn Wissenslücken benannt und onto-epistemologische Un/Bestimmtheit wahrnehmbar werden. Da die Forschenden sich gleichzeitig auf Erkenntnisfortschritt und auf Komplexität sowie Wissenslücken beziehen, wird eine Pendelbewegung erkennbar. Es

ist jedoch ein anderes Changieren als bei den Studien von Gaeini et al. ((2016), s. 8.2) und Marty et al. ((2016), s. 8.3), bei denen die Gleichzeitigkeit von Wissenslücken und der Relevanz ihrer Untersuchungen den Bezug zur onto-epistemologischen Un/Bestimmtheit ausdrückte. Hier ist es das Zusammentreffen von Wissenslücken, Komplexität und Fortschritts Glaube, das sich auch als Un/Bestimmtheit verstehen lässt. Diese Gleichzeitigkeit drückt der Schrägstrich in ›un/bestimmt‹ aus: das situative und agentielle Bestimmen, das immer auch unbestimmt bleibt.

Das Schwanken zwischen bestimmt und unbestimmt, zwischen dem Betonen bekannten Wissens und den Untiefen an Wissenslücken, drückt sich bei Su-Keene et al. (2018) auch in folgendem Satz aus:

»While the role of mitochondrial variation in influencing epigenetic regulation in nature remains poorly understood, mitochondria are known to be intimately involved in the establishment of epigenetic states [...] through the synthesis of cofactors associated with active de/methylation and de/acetylation.« (Su-Keene et al. 2018: 5)

Die Unsicherheiten, die Su-Keene et al. in diesem Satz formulieren, werden teilweise dadurch aufgehoben, dass sie schreiben, über manche Zusammenhänge Bescheid zu wissen. Doch lösen sich die Wissenslücken nicht vollständig auf. So zeigt sich ein Wechselspiel im ersten Teil des Satzes, wo manches als unklar, anderes als bekannt bezeichnet wird. Außerdem artikuliert sich das Schwanken in der Verwendung der Schrägstriche. Das Zitat bezeichnet zwei jeweils gegenläufige Prozesse und drückt weitere Unsicherheiten aus, welche hier (Methylierung oder Demethylierung, Acetylierung oder Deacetylierung) relevant sind. Su-Keene et al. arbeiten mit bekanntem Wissen und genauso mit Unbestimmtheit. Die Schreibweise mit dem Schrägstrich kann aber auch bedeuten, dass jeweils beides der Fall ist. Auch in diesem Zitat zeichnet sich also eine Pendelbewegung zwischen bestimmt und unbestimmt ab.

›Responsibilities‹

Auf onto-epistemologische Un/Bestimmtheiten können zudem die Agencies aufmerksam machen, die an agentiellen Schnitten partizipieren und zur Konstituierung von Phänomenen führen. Denn in das Wechselspiel von unbestimmt und bestimmt sind nach Barad nicht bloß die Forschungssubjekte involviert, die versuchen, spezielle Zusammenhänge aufzudecken oder Eigenschaften zu bestimmen. Es sind viele andere Agencies beteiligt, die nicht nur menschlich sind. Im Folgenden wird die Schwierigkeit offensichtlich wahrzunehmen, welche Fähigkeiten zu antworten in der Studie vorhanden sind, und es wird deutlich, dass diese nicht allein einer Agency zugeordnet werden können.

Mehrfach wird ›response‹ in Kombination mit mitochondrialer DNA genannt. Zum Beispiel schreiben Su-Keene et al.: »through its effects on epigenetic regula-

tion, mitochondrial DNA polymorphism may provide the potential for an adaptive evolutionary response to climate warming.« (ebd.: 2) In allen Nennungen kommen Mitochondrien wichtige Rollen zu. Sie werden als das Antworten ermöglichend oder bestimmend beschrieben (vgl. ebd.). Doch wer genau antwortet hier? Einfacher zu beantworten ist die Frage, auf was geantwortet wird: Klimaerwärmung und steigende Temperaturen. Es klingt, als hätten Mitochondrien die Fähigkeit, das Antworten auf Klimaerwärmung zu beeinflussen. Zudem formulieren Su-Keene et al. an anderer Stelle, dass epigenetische Veränderungen das Antworten ermöglichen (vgl. ebd.: 9). Da es in der Studie um Pseudoskorpione und ihre mitochondriale DNA geht, ist hier außerdem die Antwortfähigkeit dieser Phänomene immanent. Die erwähnten Textstellen machen auch deutlich, dass es nicht allein die Pseudoskorpione sind, denen Antwortfähigkeit zugeschrieben werden kann. In der Studie artikuliert sich zudem die Antwortfähigkeit von Mitochondrien und Epigenetik. Su-Keene et al. formulieren: Der Pseudoskorpion »is a model tropical ectotherm for investigating mitochondrial and epigenetic responses to climate warming« (ebd.: 2). Die Forschenden untersuchen nicht nur mitochondriale, sondern auch epigenetische Antworten auf Klimaerwärmung. Anders als in den Zitaten zuvor, wird das Antworten also als mitochondrial und epigenetisch beschrieben.

Erwähnen Su-Keene et al. »response«, so bezeichnen sie diese meist als »adaptive evolutionary« (ebd.). Sind es also Anpassung und Evolution, die antworten? Das Antworten als evolutionär zu spezifizieren, kann bedeuten, dass es auf Evolution beruht und mit dieser zu erklären oder für diese relevant ist. Mit dem Zusatz »adaptive« kann es als »an Evolution angepasst« oder »evolutionäre Anpassung« übersetzt werden. Da es in der Studie um die Folgen von Klimaerwärmung auf den Pseudoskorpion geht, bezieht sich die evolutionäre Anpassung vermutlich auf diese Tiere. Es sind aber auch nicht bloß die Pseudoskorpione, die hier antworten. Denn aus den ersten Zitaten zu »response« wurde deutlich, dass der Polymorphismus der mitochondrialen DNA epigenetische Prozesse beeinflusst und dafür das Potenzial spezifischer Antworten liefert.

Mein Versuch, die verschiedenen Aspekte, die in den Zitaten genannt werden, auf die Frage hin zu sortieren, wem die Fähigkeit zu antworten zugeschrieben wird, bleibt vage. Vielmehr werden die Komplexität der Untersuchung sowie die Schwierigkeit, einzelne Phänomene wahrzunehmen, deutlich. Darin artikuliert sich Un/Bestimmtheit, wie Barad beschreibt: »The indeterminacy at the heart of being calls out to us to respond.« (Barad 2015b: 164) Es ist nicht eindeutig, wer in der Studie die Fähigkeit zu antworten hat, ob Epigenetik und Mitochondrien, Pseudoskorpione oder Evolution. Daher ist Barads Aussage, dass Unbestimmtheit antwortet, hier passend. Ich habe versucht, dies zu klären und verschiedene Varianten diskutiert. Wer antwortet bleibt dabei aber immer auch unbestimmt. All die Zitate, in denen »response« in unterschiedlichen Konstellationen erwähnt wird,

weisen darauf hin, dass im Antworten zahlreiche Elemente involviert sind: Mitochondrien und ihre spezifischen Eigenschaften, Klimaerwärmung, Evolution, Epigenetik sowie verschiedene RNAs. Diese Bandbreite an involvierten Komponenten kann auf die Komplexität und darüber hinaus auf die Un/Möglichkeit hinweisen, Zusammenhänge und Wirkweisen zu bestimmen.

In diesem letzten Teil des diffraktiven Lesens habe ich im Pendeln zwischen Wissenslücken und Erkenntnisfortschritt zunächst ein Schwanken zwischen bestimmt und unbestimmt ausmachen können. Dieses Schwanken und die Hinweise der Forschenden auf die Komplexität der untersuchten Phänomene eröffneten den Blick auf onto-epistemologische Un/Bestimmtheiten. Im Wechselspiel zwischen bestimmt und unbestimmt sind zahlreiche Agencies involviert. Auf der Suche danach erschien es sehr schwierig zu erkennen, wer die Fähigkeit zu antworten hat. Deutlich wurde hier, dass Agencies vielmehr als Relationen aus Mitochondrien, Epigenetik, Pseudoskorpionen und Evolution konfiguriert werden.

Anhand der vermittelnden Begriffe ›mediate‹ und ›transmitted‹ habe ich im vorherigen Teil (8.4.3) die Relationen zwischen Phänomenen herausarbeiten können, die als weit entfernt voneinander gelten: verschiedene Generationen und Orte, Pseudoskorpione und Spermien. Dass diese un/trennbar sind und in ihrer Relationalität immer wieder konfiguriert werden, veranschaulichte auch die Position der RNA in der Studie. Da diese nicht bloß eine Mittlerinnenposition einnimmt, sondern auf komplexe Netzwerke hinweist, resoniert die Studie mit Barads Verständnis von Kausalität: Es handelt sich um Verschränkungen und so wird zum Beispiel im Forschungsprozess immer wieder auseinander- und zusammengeschnitten.

Da die naturkulturellen Verschränkungen von Labortieren und Pseudoskorpionen aus verschiedenen Küstenregionen eine Besonderheit der Studie darstellen, habe ich damit das diffraktive Lesen begonnen (8.4.1). Jene Verschränkungen zeigten sich auch in der Unterscheidung von Klimaerwärmung in natürlichen Habitaten und simulierter Klimaerwärmung im Labor. Damit verbunden war eine weitere Besonderheit dieser Studie, in der die Rekonfiguration der Versuchstiere explizit benannt wird. Die Pseudoskorpione, aber auch verschiedene RNAs, stellen sich als zentrale Phänomene (8.4.2) bei Su-Keene et al. (2018) heraus.

8.5 Vergleich der Studien anhand des diffraktiven Apparats. Zusammenfassende Ergebnissicherung

Die vier Anknüpfungspunkte (Un/Bestimmtheiten, Phänomene, Relationen und Verschränkungen), die ich für mein diffraktives Lesen entwickelt habe, dienen als methodologischer Rahmen, anhand dessen ich Differenzsetzungen und ihre Überschreitungen in drei umweltepigenetischen Studien nachgezeichnet habe. Barads diffraktive Methodologie ist von einem gleichberechtigten Lesen unterschiedlich-