

der beschriebenen Laborbedingungen konnten die damit verbundenen agentiellen Schnitte nachvollzogen werden, die zu Phänomenen wie Mäuse, Knochen und RNA führen. Dass diese zudem als spezifische Relationen sichtbar werden, zeigte sich mit dem Begriff ›Mittlerin‹. Yoshizawa sieht hierfür zudem Hinweise im Begriff ›programming‹, der auch bei Gaeini et al. (2016) verwendet wird:

»Fetal programming is a matrilineal inheritance endowed by the capacity for developmental plasticity, itself an intra-actional openness to a world beyond the womb. A fetus and mother, and their experiences of health and disease are already intra-acting in their ancestors, their food, their social lives, their emotions, and their exposomes. Put simply, fetal programming comprises phenomena that prompt us to wonder where the supposed fetal-maternal interface can really be located« (Yoshizawa 2016: 93).

Mit Yoshizawa habe ich die Verschränkung von Müttern, Föten und Plazenten herausgearbeitet. Zudem artikulieren sich raumzeitliche Verschränkungen und solche von Menschen und Mäusen in der Studie. Diese Befunde wurden durch ein diffraktives Lesen der Studie mit Barad, Schrader, Yoshizawa und Waddington ersichtlich und die vier Anknüpfungspunkte ermöglichten, die von Gaeini et al. untersuchten Verhältnisse nicht als Interaktionen zu verstehen, sondern als Intra-aktionen zwischen Mäusen, Menschen, Generationen, Zeiten, Genen, Umwelten, RNAs oder auch Käfigen.

8.3 Marty et al.: Deletion of gene cluster enhances anxiety-related behaviour

Die Studie »Deletion of the miR-379/miR-410 gene cluster at the imprinted Dlk1-Dio3 locus enhances anxiety-related behaviour« ist 2017 erschienen und umfasst zwölf Seiten. Davon nehmen zwei Seiten das Literaturverzeichnis ein, die sechs Abbildungen insgesamt anderthalb Seiten. Die Autor_innen Virginie Marty, Stéphane Labialle, Marie-Line Bortolin-Cavaillé und Jérôme Cavaillé arbeiten am Laboratoire de Biologie Moléculaire Eucaryote an der Universität Paul Sabatier in Toulouse sowie am Französischen Zentrum für wissenschaftliche Forschung (CNRS). Gabriela Ferreira De Medeiros und Marie-Pierre Moisan gehören dem Französischen Institut für Agrikulturforschung (INRA) sowie der Universität Bordeaux an. Cédric Florian ist am Centre de Recherches sur la Cognition Animale der Universität Paul Sabatier in Toulouse und am Französischen Zentrum für wissenschaftliche Forschung im Forschungszentrum für Kognition von Tieren tätig. Obwohl die Studie Mäuse untersucht, ist sie in der Fachzeitschrift *Human Molecular Genetics* veröffentlicht.

Zwei Besonderheiten der Studie sind zu nennen. Erstens stehen der epigenetische Vererbungsmechanismus des Genomic Imprinting (s. 2.2) und seine Effekte im Fokus. Bei manchen Genen macht es einen Unterschied, ob ein Allel von der Mutter oder vom Vater vererbt wird: Einige Gene werden nur exprimiert, wenn sie das mütterliche Allel vererbt bekommen haben, andere, wenn sie das väterliche Allel geerbt haben. In dieser Studie macht es keinen Unterschied, wenn das väterliche Allel gelöscht wird, da dieses für die hier relevanten miRNA-Gencluster das stille Allel ist, während das mütterliche Allel das aktive ist. Es zeigen sich nur Auffälligkeiten, wenn das mütterliche Allel gelöscht wird. Viele der Mäuseembryos ohne mütterliches Allel waren nicht überlebensfähig. Die überlebensfähigen zeigten ängstliches Verhalten, so die Forschenden. Marty et al. testeten mit Hilfe der genetischen Manipulationen (Löschungen) die Relevanz der miR-379/miR-410-Gencluster für Entwicklung, Verhalten und Unterschiede im Phänotyp. In der Studie nehmen somit Löschungen und Leerstellen eine besondere Funktion ein. Mit den Verhaltenstests wollten die Autor_innen etwas über die Rolle der miRNAs herausfinden.

Die Studie ist aus einem weiteren Grund besonders, denn hier geht es nicht explizit um den Einfluss körperäußerer Faktoren auf epigenetische Prozesse. In den Kapiteln 2.2 und 2.3 hatte ich dargestellt, dass umweltepigenetische Studien sich auf sehr unterschiedliche Umweltbegriffe beziehen und der Einfluss verschiedenster Faktoren (als Umwelt) untersucht wird. Gemeint sein können körperäußere, aber auch körperinnere Umwelten wie Zell- oder Genumwelt. Zudem sprechen einige Forschende auch von »developmental environment« (Godfrey et al. 2013: 60), was sich wiederum auf die Plazenta oder Gebärmutter als Umwelt bezieht. Auch Marty et al. scheinen ein ähnliches Umweltverständnis zu haben.

Bei der Erklärung des Phänomens Genomic Imprinting verweisen Marty et al. auf zwei Texte. In einem dieser Texte heißt es: »The recognition that the ›imprint‹ is not dependent on the DNA sequence, but rather the parental germline environment through which the gene passes, now defines the process of imprinting.« (Ferguson-Smith 2011: 566, H.i.O.) Marty et al. interessieren sich für Genomic Imprinting und dabei ist die elterliche Keimbahn-Umwelt relevant. Ein zweites Zitat aus dem Text von Ferguson-Smith kann einen weiteren Hinweis liefern. In ihrer Studie interessierten sich Marty et al. nicht bloß für die Rolle geprägter Gene bei pränataler Entwicklung, sondern auch für postnatale Effekte (vgl. Marty et al. 2016: 728). Laut Ferguson-Smith würden besonders postnatale Prozesse auf Umwelteinflüsse antworten: »More recently, several studies have indicated that imprinted genes also play important parts in postnatal processes including adaptation to feeding, social behaviour and metabolism, processes that may be particularly responsive to environmental influences.« (Ferguson-Smith 2011: 572) Diese Aussage passt auch zum Fokus der Studie von Marty et al. (2016).

Marty et al. untersuchten was sich verändert, wenn das mütterlich vererbte Allel des miR-379/miR-410-Genclusters nicht vorhanden ist und somit nicht exprimiert werden kann. Dafür wurde von den Forschenden eine Löschung des Genclusters bei den Müttern vorgenommen. Ob eine Stilllegung des Genclusters auch durch Umweltfaktoren hervorgerufen werden könnte, wird nicht erwähnt. Auf die Ursachen gehen Marty et al. nicht näher ein, vermuten aber, dass das ängstlichere Verhalten der Δ Mat-Mäuse »originate, at least in part, from adverse early life experiences.« (Marty et al. 2016: 735) Sie interessieren sich mehr für die Folgen der fehlenden Expression von miR-379/miR-410. Doch obwohl es ihnen nicht darum geht herauszufinden, welche Umweltfaktoren das Fehlen des mütterlichen Allels auslösen könnten, sehen sie einen Zusammenhang mit der äußeren Umwelt. Das leite ich aus ihrem Hinweis zu negativen frühen Erfahrungen (vgl. ebd.) und ihrem Bezug auf Plastizität ab.¹⁵

Denn explizit genannt wird der Begriff »environment« von Marty et al. ausschließlich in Bezug auf die Tests, in denen die Forschenden (phänotypische) Veränderungen im Verhalten und soziale Folgen der genetisch manipulierten Mäuse untersuchten: »unfamiliar environments« (ebd.: 728, 730) oder »stressful environment« (ebd.: 734, 735). Umwelt wird in der Studie von Marty et al. (2016) also an einer anderen Stelle relevant als in den Studien der Pilotphase (4. Kapitel) oder der von Gaeini et al. ((2016), s. 8.2). Hier steht nicht im Fokus, welche Umweltfaktoren darauf einwirken, ob das väterliche oder mütterliche Allel geprägt ist. Was Marty et al. interessiert ist, ob sich die Δ Mat-Mäuse in unbekannter oder stressiger Umgebung anders verhalten als die anderen Mäuse. Umwelt spielt bei Marty et al. also weniger als Umwelteinfluss eine Rolle, sondern vor allem als Möglichkeit, die verschiedenen Mäuse zu testen und zu vergleichen. Nur in der »stressful environment« der Verhaltenstests, die die Forschenden durchführen, nicht aber unter normalen Laborbedingungen, fanden sie Unterschiede zwischen den Mäusegruppen. Mit Hilfe dieser Umwelt wollen sie also die Rolle der RNA verstehen. Obwohl Marty et al. ausschließlich körperinnere Funktionen untersuchen, kann ihr Apparat somit als offen gegenüber der körperäußeren Umwelt beschrieben werden, da sie untersuchten, wie die Mäuse unter bestimmten Umweltbedingungen reagieren. In diesem Zusammenhang werden verschiedene »abilities to respond« sowie Verschränkungen erkennbar. Bevor ich entlang der vier Anknüpfungspunkte die Studie mit Barads agentiellem Realismus und weiteren Autor_innen durcheinander hindurch lese, gebe ich zunächst ihre zentralen Inhalte wieder.

15 Auch das Konzept der Plastizität spielt in dieser Studie eine wichtige Rolle, die ich am Ende von 8.3.1 diskutiere.

»Abstract«

Im Abstract fassen Marty et al. ihre Forschungsergebnisse zusammen: Die für Gehirne spezifischen Gencluster miR-379/miR-410 im geprägten (»imprinted«) Dlk1-Dio3-Bereich seien in zahlreiche Aspekte der Gehirnentwicklung und -funktion involviert. Ob diese miRNA-Gencluster Prozesse beeinflussen, die Verhalten und Erinnerungsvermögen betreffen, sei noch nicht für den ganzen Organismus erforscht. Die Autor_innen schreiben, dass die Löschung von miR-379/miR-410-Genclustern die »metabolic adaptation« (Marty et al. 2016: 728) bei neugeborenen Mäusen beeinflusse. Marty et al. untersuchten die Rolle des Clusters für die Hirnfunktionen erwachsener Mäuse, bei denen sie das Gencluster vorher löschten. Mit Hilfe mehrerer Verhaltens- und Kognitionstests fanden sie heraus, dass das Fehlen der Expression der miR-379/miR-410 mit »abnormal emotional responses« (ebd.) in Verbindung stehe, da die Mäuse verstärkt ängstliches Verhalten in unbekannten Umgebungen aufzeigten. Keine Veränderungen fanden sie hingegen im Erkunden, in der Fortbewegung, den Stimmungsleveln und der Soziabilität. Auch zeigten die »miR-379/miR-410-deficient mice [...] normal learning and spatial (or contextual) memory abilities« (ebd.). Das geprägte miR-379/miR-410-Gencluster, so die Autor_innen, sei als neuer Regulator für zwei postnatale physiologische Prozesse erkannt worden: Verhalten und Regulation des Energiehaushaltes.

»Introduction«

In der Einleitung geben Marty et al. einen Einblick in den Forschungsstand. Von Interesse ist das epigenetische Phänomen des Genomic Imprinting, im Speziellen die Folgen des »imprinted miR-379/miR-410 gene cluster« (ebd.). Sie erwähnen, dass insgesamt etwa hundert solcher geprägten Gene bekannt seien und vor allem ihre Rolle für das pränatale Wachstum und die Entwicklung der Plazenta. Man gehe davon aus, dass sie aber auch für postnatale physiologische Funktionen wichtig seien, vor allem für die Regulierung des Energiehaushalts und für verhaltensneurologische Prozesse (vgl. ebd.).

Ein bekanntes geprägtes Gencluster sei der Dlk-Dio3-Chromosomen-Bereich. Der enthalte zahlreiche miRNA-Gene, die vom mütterlichen Allel exprimiert sind. Viele davon würden wiederum im miR-379/miR-410-Gencluster vorkommen (vgl. ebd.: 729). Während der Entwicklung und der postnatalen Zeit seien die miR-379/miR-410-Gencluster in den meisten nicht-neuronalen Geweben exprimiert (aktiv), im Erwachsenenalter vor allem im Gehirn. Für dieses miRNA-Gencluster interessieren sich gerade viele Forscher_innen, da es als Regulierer neuronaler Plastizität gilt. Es gehört zu den am besten untersuchten, so die Autor_innen. Weitere Funktionen der Gencluster seien bereits aus anderen Studien bekannt (vgl. ebd.). Insgesamt würde der aktuelle Forschungsstand auf die wichtige re-

gulatorische Rolle des miR-379/miR-410-Genclusters für viele Aspekte neuronaler Plastizität hinweisen.

Um ein umfassendes Bild davon zu erhalten, welche Relevanz das miR-379/miR-410 Gencluster für Hirnfunktionen hat, wurden die Nachkomm_innen der Mäuse untersucht, in denen man es zuvor löschte. Marty et al. haben dafür ein »knockout mouse model« (ebd.: 730) genutzt. Wie sie hier vorgegangen sind, beschreiben die Forschenden nicht. Die Bezeichnung »knockout« bedeutet, dass Gene stillgelegt oder ausgeschnitten werden.¹⁶ Auf diese Weise untersuchten sie den Anteil der mütterlich exprimierten miRNA-Gene im Verhalten erwachsener Mäuse. Aus ihrer Untersuchung schlussfolgerten Marty et al., dass das Fehlen des miR-379/miR-410-Genclusters zu stärker ängstlichem Verhalten führe. Anders als aufgrund anderer Studien zu erwarten, waren aber die Hippocampus-abhängigen »long-term memory and learning performances« (ebd.) nicht beeinträchtigt, so die Autor_innen. Marty et al. schließen die Einleitung mit dem Satz: »This represents one of the very first studies that have explored, extensively and systematically, how genetic ablation of a given mammalian miRNA locus impacts on adult behaviours.« (ebd.)

»Results«

Es folgt der längere Ergebnis-Teil der Studie. Marty et al. erwähnen zu Beginn, dass die mütterlich vererbte Löschung des miR-379/miR-410-Genclusters, wenn also das mütterliche Allel fehlt, vielfach dazu führt, dass die Mäuse nicht überlebensfähig sind. Um die Funktion der miR-379/miR-410 Gencluster zu untersuchen, führten Marty et al. mit drei bis fünf Monate alten männlichen Mäusen »well-characterized behavioural tests« (ebd.: 730) durch. Dazu produzierten sie genetisch vergleichbare Mäusegruppen:

»one class of individuals carrying a constitutive deletion of paternal origin (the so-called Δ Pat in which the miRNA genes should be expressed normally since only the paternal silent allele is deleted) and one class of individuals carrying a constitutive deletion of maternal origin (the so-called Δ Mat in which the miRNA genes should no longer be expressed since the maternal active allele is deleted).« (ebd.)

16 In der Endnote 22 verweisen Marty et al. auf eine andere Studie, an der vier der sieben Autor_innen beteiligt waren und in der sie beschreiben, wie sie Knockout-Mäuse hergestellt haben (vgl. Labialle et al. 2014: 2228). Den KO-Mäusen wurden ganze miRNA-Gencluster entfernt. Diese nennen sie » Δ miR« (vgl. ebd.: 2218). Mit Bezug auf die Studie von 2014 stelle ich die Vermutung an, dass die Forschenden in beiden Studien mittels genetischer Manipulation (Löschung des miRNA-Genclusters) das Deaktivieren des miRNA-Gencluster imitieren, wie es auch durch Genomic Imprinting hervorgerufen werden kann. Die Deaktivierung durch epigenetische Modifikationen wäre im Vergleich zur Löschung des Genclusters aber nicht reversibel.

So erhielten sie die Δ Mat-Mäuse, die die Löschung des mütterlichen Allels erbten, und die Δ Pat-Mäuse, die die Löschung des väterlichen Allels erbten, und jeweils ihre Wildtypen-Wurfgeschwister (»WT«) mit beiden Allelen. Durch das Fehlen der miR-379/miR-410-Genexpression rechneten Marty et al. mit Verhaltensdefiziten bei den Δ Mat-Mäusen, nicht aber bei den Δ Pat-Mäusen (vgl. ebd.).

In den folgenden Unterkapiteln des Ergebnisteils werden Veränderungen erwähnt. Überwiegend geht es aber darum, was die Löschung des miR-379/miR-410 Genclusters *nicht* veränderte. Der erste Abschnitt ist überschrieben mit »Loss of expression of the miR-379/miR-410 gene cluster promotes anxiety but not depression-related behaviours« und hier wird der einzige Bereich beschrieben, auf den sich die Löschung auswirkte. Marty et al. erklären zunächst, wie sie den Einfluss des Genclusters auf Angstverhalten und Depression der Mäuse im »open-field (OF) test« (ebd.) untersuchten: Indem sie maßen, welche Distanz Mäuse in einem offenen Feld zurücklegten, und beobachteten, wie sie sich dort verhielten, sagten sie etwas über die Bewegung und die Neugierde der Mäuse in einer ihnen unbekannten Umgebung aus. Marty et al. fanden keine Unterschiede zwischen den vier Mäusegruppen. Daher würde die Löschung der miR-379/miR-410 Gencluster weder Bewegung noch Erkundungsverhalten beeinflussen (vgl. ebd.).

Unterschiede würden sich daher nicht in depressionsähnlichen, aber in ängstlichem Verhalten zeigen. Dies schlussfolgerten Marty et al., weil sie die Vermeidung von Mäusen, einen offenen zentral gelegenen Bereich eines Käfigs zu betreten, beobachteten. Ihre statistische Analyse veranschaulichte, dass die Δ Mat-Mäuse weniger oft in den offenen Bereich gingen als in die geschützten, und weniger Zeit dort verbrachten im Vergleich zu ihren WT-Wurfgeschwistern. Das Verhalten der Δ Pat-Mäuse unterschied sich dagegen nicht von dem der WT-Mäuse.

Um zu überprüfen, ob die Δ Mat-Mäuse sich tatsächlich ängstlicher verhielten, führten die Forschenden einen zweiten Test durch. Auch im »elevated plus maze test« (ebd.), bei dem die Mäuse in einen Käfig mit zwei offenen und zwei abgeschlossenen Bereichen gesetzt werden, betraten die Δ Mat-Mäuse weniger häufig die offenen Gänge und verbrachten insgesamt weniger Zeit dort. Die beiden offenen Bereiche wurden als »stressful« und die abgeschlossenen als »protective« charakterisiert und so auf ängstliches Verhalten geschlossen. Die Δ Mat-Mäuse würden weniger oft die offenen Bereiche betreten und weniger Zeit dort verbringen als die anderen Mäuse: »We, thus, conclude that miR-379/miR-410-deficient mice display abnormal reactivity to anxiety-causing environments.« (ebd.)

Ein dritter Test sollte prüfen, ob andere Formen gefühlsbedingten Verhaltens auch von der Löschung des miRNA-Clusters beeinflusst sind. Daher wurden die Δ Mat-Mäuse dem »novelty-suppressed feeding (NSF) test« (ebd.) unterzogen. Die Mäuse bekamen kein Essen und wurden in eine hell erleuchtete, neue Umgebung gesetzt, in deren Mitte sich Futter befand. Das zögerliche oder abwartende Verhalten einer Maus, in dieser Umgebung zu essen, galt als Hinweis für »mixed anxio-

depressive behaviour« (ebd.).¹⁷ Hier zeigten sich keine Unterschiede unter den Mäusegruppen, so Marty et al.

»Depression-like behaviour« wurde schließlich im »tail suspension (TS) test« (ebd.) untersucht, bei dem die Mäuse an ihrem Schwanz fixiert wurden, sodass sie nicht weglaufen konnten. Bewegten sie sich nicht, galt dies als »despair-related behaviour« (Marty et al. 2016: 730). Auch hier fanden die Forschenden keine Unterschiede.

Weiter führen Marty et al. aus, dass bei Freisetzung des Steroidhormons Corticosteron (CORT) die Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-Achse und somit die »stress response« (ebd.) beeinflusst würde. Marty et al. hatten vermutet, dass das ängstliche Verhalten der Δ Mat-Mäuse auf einen Defekt am CORT-Level zurückzuführen sei. Um dies zu prüfen, maßen sie die CORT-Level in den Δ Mat-Mäusen und ihren WT-Wurfgeschwistern, fanden aber keine Unterschiede zwischen den Gruppen. Daher platzierten sie Mäuse beider Gruppen für 30 Minuten in einem Rohr. In dieser Stresssituation stiegen die CORT-Level stark an, aber beide Gruppen antworteten ähnlich auf den Stress (vgl. ebd.: 731).

Wichtig sei, dass geprägte Gene das soziale Verhalten im Erwachsenenalter beeinflussen (vgl. ebd.). Mittels eines Drei-Kammern-Tests untersuchten Marty et al. diese Hypothese bei den Δ Mat-Mäusen. Dabei konnten die Mäuse sich aussuchen, ob sie sich in einer Kammer aufhalten, in der eine ihnen unbekannte Maus ist, oder in einer Kammer, die leer ist. Entschieden sie sich für die erste, galten sie als sozial. Zunächst gab es eine Eingewöhnungsphase, in der beide Kammern leer waren. Anschließend wurde in eine der Kammern eine unbekannte Maus gesetzt und gemessen, wie oft die Mäuse diese kontaktieren. So wurde Soziabilität gemessen. Die Forschenden fanden hier keine Unterschiede zwischen den vier Mäusegruppen.

Zwei weitere Tests wurden mit den genetisch manipulierten Mäusegruppen ausgeführt: »The first, the object location test, is a hippocampus-dependent spatial task that assesses the ability of rodents to remember the location of a previously encountered object.« (ebd.: 732) Dabei fand zunächst eine Trainingsphase statt, in der sich die Mäuse mit zwei identischen Objekten bekannt machten. Danach wurde eines der Objekte an einem anderen Ort platziert. Räumliches Erinnerungsvermögen wurde den Mäusen zugeschrieben, die mehr Zeit damit verbrachten, das verschobene Objekt zu untersuchen. Auch hier fanden Marty et al. keine signifikanten Unterschiede (vgl. ebd.).

17 Unterscheiden Marty et al. vorher zwischen »anxiety-related« und »depression-like«, nennen sie in Bezug auf den NSF-Test beides zusammen. Als Referenz ist eine Studie aus dem Jahr 1988 angegeben, in der ein NSF-Test durchgeführt wurde, um die Wirkung von Antidepressiva auf Angst bei Ratten zu untersuchen. In dieser Studie wird aber überwiegend von Angst gesprochen, nicht von Depression (vgl. Bodnoff et al. 1988).

Als zweites wurde der »Morris water maze test« (ebd.) durchgeführt. Dafür wurden Mäuse in trübes Wasser gesetzt. Während der Trainingsphase befand sich unterhalb der Wasseroberfläche eine Plattform. Die Mäuse mussten mittels visueller Hinweise die Plattform unter Wasser finden, mit Hilfe derer sie wieder aus dem Wasser gelangten. Dies schafften die Mäuse immer schneller, was auf einen Lerneffekt hinweise. Hierbei gab es keinen Unterschied zwischen den Mäusen, so Marty et al. (vgl. ebd.). Nach der vierten Trainingsphase wurde die Plattform entfernt und es wurde gemessen, wie oft die Mäuse zu der Stelle schwimmen, an der die Plattform zuvor war. Alle Mäusegruppen erinnerten sich gleich gut an die Stelle und man konnte keine Unterschiede im räumlichen Gedächtnis der Mäuse feststellen, so Marty et al. (vgl. ebd.: 733).

Mittels des »Pavlovian contextual fear conditioning test« (ebd.) wurden weitere Lern- und Gedächtnisformen untersucht. Hierbei lernten die Mäuse einen neutralen Stimulus wie einen Kontext oder einen einzelnen Ton mit einem aversiven zu assoziieren, zum Beispiel einem Elektroschock, was Angst oder Unbeweglichkeit hervorruft (vgl. ebd.). Während der Trainingsphase verhielten sich alle Mäuse gleich. Nach 24 Stunden wurden sie erneut in den gleichen Kontext gesetzt und auch ohne Stimulus zeigten alle Mäuse stärker unbewegliches Verhalten. Danach wurden die Mäuse in eine andere Umgebung gesetzt, in der die Forschenden den Ton-Stimulus abspielten, aber auch hier nicht den Elektroschock. Auch hier waren alle Mäuse unbeweglicher und man fand keinen Unterschied zwischen den vier Gruppen. Daher scheinen auch »contextual and tone fear memories« (ebd.: 734) nicht beeinflusst von der Löschung des miRNA-Genclusters, so die Autor_innen der Studie.

»Discussion«

Aus ihrer Untersuchung schlussfolgern Marty et al., dass erwachsene Δ Mat-Mäuse stärker auf angstauss lösende Stimuli reagierten aber kein depressionsähnliches Verhalten zeigten. Da sich die Δ Pat-Mäuse hingegen genauso verhielten wie ihre WT-Wurfgeschwister, schließen die Forschenden daraus, dass die mütterlich vererbte Löschung des miR-379/miR-410-Genclusters Grund für die Unterschiede »in the emotional behaviour« (ebd.: 734) sei. Das Verhalten der Δ Mat-Mäuse sei aber als vorübergehendes zu verstehen, da es nur in bestimmten Tests gefunden wurde. Zudem sei unbekannt, ob das abweichende Verhalten auch in den weiblichen Nachkomminnen vorzufinden sei (vgl. ebd.).

Insgesamt wisse man ohnehin nur wenig darüber, wie die genetische Veränderung der miRNA-Expressionslevel bei Mäusen ängstliches Verhalten beeinflusse (vgl. ebd.). Entgegen ihrer Erwartungen seien in den meisten Tests keine Unterschiede aufzufinden. Klar sei, so Marty et al., dass viele geprägte und für Proteine kodierende Gene im Gehirn exprimiert seien und eine Reihe an Verhalten prä-

gen würden, wie andere Studien veranschaulichten: mütterliche Fürsorge, Säugen, Milchproduktion, soziale Interaktion, Risikofreudigkeit, Lernen, Gedächtnis oder emotionales Antworten. Zwei andere Studien hätten ähnliches ängstliches Verhalten gefunden, wenn das väterlich exprimierte *Snord116*-Gen fehle. Aufgrund dieser Parallele scheinen sie ihre Annahme als gerechtfertigt zu sehen, dass »anxiety-phenotypes observed in these two small RNA KO mouse models may therefore originate, at least in part, from adverse early life experiences.« (vgl.: 735)

Insgesamt weise dies alles auf die Schwierigkeit hin, den Komplex und die verflochtenen, physiologischen Funktionen zu entwirren, die bei der Störung geprägter Gene sichtbar würden (vgl. ebd.). Obwohl sie keine großen Anomalitäten gefunden hätten, deuteten sich Effekte in Stoffwechsel und Verhalten an, wenn die genetisch manipulierten Mäuse sich an stressvolle Umgebungen anpassen müssen. Das miR-379/miR-410 Gencluster sei nichtsdestotrotz als »a novel player in the two most prevalent post-natal physiological functions associated with imprinted, protein-coding genes: the control of energy homeostasis and brain functions« (ebd.). Somit würde ihre Studie zu den bisherigen Untersuchungen passen, die die Relevanz des geprägten *Dlk1-Dio3*-Bereichs deutlich gemacht hatten. Ihre Studie sei die erste, die Hinweise auf den Zusammenhang des *Dlk1-Dio3*-Bereichs mit verändertem Verhalten im Erwachsenenalter gebe. Ob dies auch für Menschen gelte, müsse in weiteren Untersuchungen erforscht werden, so die Autor_innen.

»Material and Methods«

Die Studie schließt mit einem Material- und Methoden-Kapitel ab, in dem die Haltungsbedingungen der Labormäuse sowie alle Tests beschrieben sind. Die Autor_innen beschreiben zunächst, dass der Umgang mit den Tieren von der Universität Toulouse und dem Institutional Animal Care Committee des CNRS genehmigt wurde. Die Haltungsbedingungen erfüllten die Vorgaben des CNRS, so Marty et al. (vgl. ebd.). Untergebracht waren die Mäuse in standardisierten Plastik Käfigen, in denen sie Zugang zu Nahrung und Wasser hatten und die Temperatur kontrolliert war. Darin war es zwölf Stunden lang erleuchtet und zwölf Stunden lang dunkel. Zur Paarung wurden männliche und weibliche Tiere über Nacht in einem Käfig untergebracht. Die Verhaltenstests wurden während der Lichtphase mit drei bis fünf Monate alten Männchen durchgeführt, deren genetischer Hintergrund auf die C57BL/6J-Labormäuse¹⁸ zurückging (vgl. ebd.).

Als nächstes werden »CORT measurements and restraint stress« (ebd.) beschrieben. Um dies zu messen, wurden morgens und abends Blutproben von nicht gestressten Tieren entnommen. Außerdem wurden Proben entnommen, nachdem die Mäuse für 30 Minuten in einer »Falcon tube«, einem Röllchen mit

18 Damit wird eine von über 200 bekannten Inzuchtlinien von Labormäusen bezeichnet, das heißt künstlich erzeugte, genetisch homogene Populationen.

Luftlöchern zum Atmen, gehalten wurden (vgl. ebd.). Zuletzt wird dargestellt, wie die RNA extrahiert wurde und welche statistischen Methoden die Forschenden nutzten (vgl. ebd.: 737). Hier erörtern Marty et al. insbesondere, welche Geräte und Software sie dafür einsetzten.

8.3.1 Un/Bestimmtheiten

Um zu untersuchen, wo die Studie mit Barads agentiellem Realismus korrespondiert, lese ich zunächst die Wissenslücken, die Marty et al. formulieren, mit Barads onto-epistemologischen Un/Bestimmtheiten durch einander hindurch. Anschließend frage ich, welche Agencies sich in der Studie artikulieren.

Wissenslücken

Barads Un/Bestimmtheiten resonieren mit vier Aspekten in der Studie, die andere Anordnungen sichtbar machen. Erstens im gleichzeitigen Betonen von Wissenslücken und der Relevanz der Studie, was ich Changieren nenne. Zweitens in einem Zitat, in dem die Abhängigkeit der Ergebnisse von der Auswahl der Tests beschrieben wird und drittens, wenn Marty et al. auf die inhärente Schwierigkeit und Komplexität des untersuchten Phänomens hinweisen. Schließlich diskutiere ich Formulierungen, denen zufolge Daten nichts zeigen.

Changieren

Marty et al. betonen mehrfach die Relevanz und Neuheit ihrer Studie, zum Beispiel wenn sie in der Einleitung schreiben: »This represents one of the very first studies that have explored, extensively and systematically, how genetic ablation of a given mammalian miRNA locus impacts on adult behaviours.« (ebd.: 730) Am Ende betonen sie, dass ihre Studie die ersten Beweise überhaupt liefere (vgl. ebd.: 735). Neben den Hinweisen auf die Relevanz der Studie machen Marty et al. aber auch Wissenslücken deutlich. Sie schreiben, dass der Einfluss des untersuchten Genclusters »has not yet been explored« (ebd.: 728) und die Funktion der kleinen regulierenden RNA-Gene »remain poorly understood« (ebd.: 729). Daraus leiten sie ab, dass es weitere Untersuchungen brauche (vgl. ebd.: 730). Marty et al. benennen die Wissenslücken und Unklarheiten konkret und beschreiben sie im Diskussionsteil sehr ausführlich (vgl. ebd.: 734). Mit »little is known« und »we speculate« bekunden sie, wie wenig verstanden wird (vgl. ebd.: 734), und weisen die Wissenslücken klar aus.

Eine Annäherung sehen sie in weiteren Untersuchungen, denn sie schreiben: »remains to be further examined« (ebd.: 732) und »it may be forth exploring« (ebd.: 735), ein gängiger Hinweis in naturwissenschaftlichen Studien. Damit scheint die Vorstellung verbunden, durch weitere Forschungen und andere Tests die Wissenslücken schließen oder zumindest verringern zu können. Das schließt an positivistische Vorstellungen und die Fokussierung auf methodische Herausforderungen

an. Dass die Möglichkeit des Bestimmens von außen sehr begrenzt ist, zeigt sich aber auch in ihren Aussagen über Unklarheiten und Wissenslücken.

Die Anmerkungen, dass bisher wenig bekannt sei, man spekuliere oder etwas noch nicht erforscht wurde, könnten also auf epistemologische Unsicherheiten zurückgeführt werden. Im Changieren der Forschenden zwischen der Bedeutsamkeit ihrer Ergebnisse und den (noch) unbekannten Aspekten artikulieren sich jedoch onto-epistemologische Un/Bestimmtheiten. Der Schrägstrich charakterisiert die Auseinandersetzung mit Forschungsgegenständen, die ein Klären und Näherkommen suggerieren, macht aber zugleich deutlich, dass es nicht möglich ist, vollständig zu begreifen oder abschließend zu bestimmen. Dieses Changieren zeigt sich bei Marty et al., wenn sie die Relevanz ihrer Studie betonen und an anderer Stelle die Aussagekraft ihrer Textergebnisse relativieren. Aus diesem Grund lese ich das Changieren mit Barad nicht bloß als Ausdruck von methodischen Schwächen der Forschenden, sondern von onto-epistemologischen Un/Bestimmtheiten. Agentiell realistisch betrachtet weisen Forschungslücken nicht unbedingt auf eine epistemologische Ebene hin. Vielmehr ist eine Onto-Epistemologie Ursache für die Begrenztheit des Wissens und das Changieren Resultat der Unverfügbarkeit der untersuchten Zusammenhänge. Im Spekulieren der Forschenden (vgl. ebd.: 734) drückt sich aus, dass Marty et al. sich die miRNA-Gencluster nicht vollumfänglich aneignen können, um sie zu ergründen. Sie bestimmen etwas, aber zugleich bleibt es auch unbestimmt. Dieses Changieren artikuliert sich auch in zwei weiteren Ausdrücken, wie ich nun vorstelle.

»task-dependent«

Obwohl Marty et al. die Relevanz und Neuheit ihrer Studie hervorheben, könnte die Bedeutung ihrer Ergebnisse relativiert werden, da sie nur wenige Unterschiede zwischen den Mäusegruppen fanden. Sie weisen darauf hin, dass die Ergebnisse ihrer Studie vom Untersuchungssetting sowie der Wahl der Tests und der Mäuse abhängen, und führen den Grund dafür, dass in einem Test Unterschiede signifikant waren, darauf zurück: »Of note, these emotional abnormalities are very likely task-dependent since they were revealed in the OF and EPM tests but not in the NSF test.« (ebd.) Möglicherweise gehen Marty et al. davon aus, dass mit Hilfe anderer Tests und in einer anderen Forschungsanordnung andere Ergebnisse erzielt werden könnten, die Wissenslücken schließen oder verringern.

Durch die Formulierung, dass die Unterschiede sich in Abhängigkeit zu den durchgeführten Tests zeigten, wird aber auch ein positivistisches Verständnis brüchig, nach dem das Forschungsobjekt völlig unabhängig vom Apparat und Forschungssubjekt zu untersuchen ist. In diesem Zitat wird vielmehr eine Haltung erkennbar, die mit Barads onto-epistemologischer Un/Bestimmtheit korrespondiert. Marty et al. schreiben, dass die Ergebnisse ihrer Untersuchung veränderter

Verhaltensweisen von der Auswahl ihrer Tests abhängen. Das steht der Vorstellung neutralen Forschens und objektiver Wissenschaft gegenüber. Die gemessenen Eigenschaften sind »very likely task-dependent« (ebd.) und auch mit Barad gedacht nicht ohne die Experimente zu bestimmen. Das bedeutet, dass Eigenschaften wie »emotional abnormalities« (ebd.) nicht nur ohne OF-, EPM- und NSF-Test nicht zu bestimmen sind, sondern die »emotional abnormalities« keine inhärente Bedeutung haben, die aufzudecken ist. Nach dem agentiellen Realismus gibt es keine Testmöglichkeiten, die etwas final bestimmen können, da Phänomene un/bestimmt sind, das heißt ihre Unbestimmtheit kann sich niemals vollständig oder dauerhaft in Bestimmtheit auflösen. Die Hinweise auf die Abhängigkeit der Ergebnisse von der Auswahl der Tests eröffnen damit den Blick auf die Un/Möglichkeit, etwas final klären zu können.¹⁹

»inherent difficulty«

Un/Bestimmtheiten werden drittens in der Studie dort sichtbar, wo Marty et al. die Komplexität des untersuchten Phänomens betonen: »These observations point to the inherent difficulty in unravelling the complex, and very likely interlaced, physiological functions revealed by the constitutive disruption of imprinted genes« (ebd.: 735). Barads agentieller Realismus richtet sich gegen die Vorstellung, es gäbe inhärente Eigenschaften unabhängig und unveränderlich von ihren Untersuchungen, und diese seien mit den richtigen Methoden aufzudecken. Was Marty et al. als inhärent bezeichnen (»inherent difficulty ...«), ist die Schwierigkeit, die komplexen und verschränkten Funktionen geprägter Gene zu verstehen. Sie sprechen also nicht von inhärenten Eigenschaften der Gene, sondern betonen die Schwierigkeit, diese zu verstehen, und führen das auf ihre Komplexität und Verschränktheit zurück.

Nach Barad sind es nicht bloß epistemische Schwächen der Forschenden, sondern onto-epistemologische Un/Bestimmtheiten, die das Aufklären, Verstehen oder Entwirren (»unravelling«) un/möglich machen. In diesem Sinne kann auch das obenstehende Zitat der Studie gelesen werden. Denn die inhärenten Schwierigkeiten und Komplexitäten des untersuchten Phänomens (geprägte Gene) können auf die Un/Möglichkeit hinweisen, es zu bestimmen. Die Gene, wie alles andere auch, haben nicht nur keine inhärenten Eigenschaften, sondern sind unbestimmt und präexistieren nicht als solche. Das verschiebt erneut den Fokus von vermeintlich methodischen Schwächen und einer epistemologischen Ebene auf die Ontologie der untersuchten Phänomene.

19 Auf die Rolle der Tests komme ich in 8.3.2 erneut zu sprechen.

Nichts, Löschung und Tod

Un/Bestimmtheiten artikulieren sich schließlich in der Erwähnung der Forschenden von Nichts, Löschung und Tod. Die Beschreibung ihrer Testergebnisse versehen Marty et al. mit dem Hinweis, dass die Daten etwas nicht gezeigt haben: »During the training session, the four genotypes displayed the same levels of freezing response (not shown).« (ebd.: 733) Unklar ist, worauf sich der Zusatz »not shown« bezieht. Möglicherweise meinen sie, dass die Daten oder Ergebnisse nicht auf Unterschiede zwischen den vier Mäusegruppen hinweisen. Schließlich sind es Unterschiede und nicht Gemeinsamkeiten, die in Naturwissenschaften als relevante Ergebnisse gelten (vgl. Kaiser 2013). Ich argumentiere, dass es aber auch ein Ergebnis ist, wenn sich nichts zeigt und zum Beispiel alle vier Genotypen ähnliche Effekte hervorriefen, womit die Löschung des miRNA-Genclusters unerheblich für die untersuchten Merkmale ist. Barad beschäftigt sich vor allem in neueren Texten mit dem Nichts. Sie fragt in ihrem gleichnamigen Text: »What Is the Measure of Nothingness?« (Barad 2012b) Barads Überlegungen zum Nichts beziehen sich unter anderem auf quantenphysikalische Untersuchungen eines Vakuums. Aufgrund der onto-epistemologischen Un/Bestimmtheit ist ihr zufolge auch das Nichts nichts: »In fast, this indeterminacy is responsible not only for the void not being nothing (while not being something)« (Barad 2012b: 9) Auch bei Marty et al. zeigt sich diese Gleichzeitigkeit, denn der Hinweis, dass etwas nicht gezeigt wird (»not shown«) kann auch als Ergebnis gedeutet werden.

In der Studie von Marty et al. ist ein weiteres Nichts sehr präsent: die Löschung des miRNA-Genclusters. Um die Rolle des miR-379/miR-410-Genclusters für Hirnentwicklung und -funktionen zu verstehen und zu bestimmen, löschen die Forschenden dieses Cluster bei einigen Mäusen und bei anderen nicht. Anschließend kreuzen sie die Tiere. Mit der Löschung entsteht nicht Nichts und auch keine Leere. Sie ist die Hoffnung der Forschenden, Antworten auf ihre Fragen zu finden. Das korrespondiert mit Barads Aussage: »As a result of a primary ontological indeterminacy, the void is not nothing but a desiring orientation toward being/becoming, flush with yearning and innumerable imaginings of what could be/might yet have been.« (Barad 2017: G112) Dass die Löschung relevant ist für Verhalten, wie Marty et al. es mit ihren Tests beweisen wollen, ermöglicht es, die Löschung als materielle Praxis zu verstehen, die Spuren im Weltwerden hinterlässt (vgl. Barad 2018: 226). Denn die Löschung führt zu spezifischen Dingen, wie im Titel der Studie benannt: »Deletion of the miR-379/miR-410 gene cluster [...] enhances« (Marty et al. 2016: 728). Im Abstract heißt es: »deletion [...] affects« (ebd.). Das Ergebnis, dass Marty et al. daraus ziehen, drückt sich in einem Changieren zwischen der Betonung von Wissenslücken und der Neuheit ihrer Resultate aus. Welche Rolle das Gencluster und somit seine Löschung haben, ist daher zugleich bestimmt und unbestimmt.

Die Studie resoniert an einer weiteren Stelle mit Barads agentiellem Realismus. Marty et al. schreiben zu Beginn ihres Ergebnisteils:

»A maternally inherited deletion of the miR-379/miR-410 cluster is associated with a partially penetrant neonatal lethality phenotype, very likely due to impaired metabolic adaptation at the transition from pre-natal to post-natal life. The surviving adult mice, however, do not display overt abnormalities when maintained in classical mouse husbandry conditions.« (ebd.: 730)

Die Löschung des Genclusters führt also häufig dazu, dass die Embryonen nicht überlebensfähig sind, und somit zu ihrem Tod. Barad schreibt über das Nichts etwas, das sich mit der Beschreibung von Marty et al. überlagert: »It is a matter of time-being itself that is at stake in the play of indeterminacy, where an event is not one and living and dying are inseparable (though not the same): the dying is within the living within the dying.« (Barad 2017: G112)

Die Löschungen des miRNA-Genclusters, die Marty et al. vornehmen, simulieren einen epigenetischen Vererbungsmechanismus, bei dem sich unterschiedliche Phänotypen entwickeln, je nachdem, ob das väterlich oder das mütterlich geerbte Allel aktiv beziehungsweise still ist. Zunächst haben manche Löschungen (des mütterlichen Allels) den Effekt, dass sie entweder zum Leben oder zum Tod führen. Nach Barad sind im Spiel der Unbestimmtheit Leben und Tod nicht getrennt. Das zeigt sich auch in der Studie. Denn dass manche Mäuse die Löschung gar nicht überleben, gibt auch Auskunft über die Rolle des miR-379/miR-410-Genclusters: Es ist nicht unbedingt relevant für Funktionen im Gehirn, sondern dafür, ob eine Maus lebt oder stirbt. Marty et al. erwähnen, dass einige Δ Mat-Mäuse sterben und konzentrieren sich auf die Überlebensfähigen. Somit wird deutlich, dass auch die Toten relevant sind für den Versuch, das Gencluster zu bestimmen. An der Bestimmung des miR-379/miR-410-Genclusters sind also lebende und tote Δ Mat-Mäuse beteiligt.

Ich halte fest, dass sich onto-epistemologische Un/Bestimmtheiten im Zusammenhang mit Wissenslücken anhand von vier Aspekten zeigten. Zunächst habe ich argumentiert, dass das Changieren zwischen dem Betonen von Wissenslücken und der Relevanz der Studie auf die onto-epistemologische Un/Bestimmtheit geprägter Gene hinweist. Barad betont, dass Dinge nur in agentiellen Intra-aktionen bestimmt sind und somit niemals unabhängig zum Beispiel von ihrer Untersuchung. Das resoniert mit Beschreibungen von Marty et al. (2016), wenn sie darauf hinweisen, dass die Δ Mat-Mäuse nur in manchen Tests anderes Verhalten aufweisen als die Δ Pat-Mäuse. Auch dass die Schwierigkeiten etwas zu bestimmen, nicht bloß als epistemologisches Problem zu verstehen sind, sondern auf die onto-epistemologische Komplexität geprägter Gene hinweisen, korrespondiert mit Barads Un/Bestimmtheiten. Schließlich habe ich mit dem Verweis darauf, dass Daten etwas nicht zeigen, ausgeführt, dass das dort benannte Nichts mit Barad nicht als

Nichts zu verstehen ist. Mit den Löschungen der Gencluster spielen Leerstellen zudem eine zentrale Rolle für die Studie und weisen auf die Un/Trennbarkeit von Leben und Tod hin.

Agencies & ›respons_abilities‹

Nach Barad sind zahlreiche Agencies im Wechselspiel zwischen bestimmt und unbestimmt beteiligt. Diese sind auch in der Studie von Marty et al. zuerkennen und eröffnen eine Perspektive jenseits eines menschlichen Exzeptionalismus. Das zeigen vor allem die verschiedenen ›responses‹, die Marty et al. beschreiben.

»emotional responses«

Bei Marty et al. wird ›response‹ viele Male in Kombination mit verschiedenen Begriffen genannt und so werden unterschiedliche Agencies sichtbar. Die erste Nennung folgt im Abstract: »We found that the lack of miR-379/miR-410 expression is associated with abnormal emotional responses, as demonstrated by increased anxiety-related behaviour in unfamiliar environments.« (Marty et al. 2016: 728) Zwei weitere Male wird emotionales Antworten erwähnt: im Zusammenhang mit dem miRNA-Gencluster im Diskussionsteil (vgl. ebd.: 734) und in einer Aufzählung von Verhalten, die durch geprägte Gene beeinflusst werden können (vgl. ebd.: 735).

Von Interesse für die Forschenden ist, ob emotional anders geantwortet wird, wenn das untersuchte Gencluster gelöscht ist.²⁰ Ist das mütterlich aktive miR-379/miR-410-Gencluster nicht vorhanden, weichen das emotionale Antworten, beschrieben auch als emotionales Verhalten oder emotionaler Phänotyp, ab. Gemeint ist hier das emotionale Antworten der Δ Mat-Mäuse. Ihre Emotionen antworten für Marty et al. anders als »normalerweise« beziehungsweise anders als bei den Δ Pat-Mäusen und allen WT-Mäusen. Die »abnormal emotional responses« (ebd.: 728), die sich in einem Test und in Bezug auf ängstliches Verhalten zeigten, sind Basis dafür, dass Marty et al. die Relevanz ihrer Studie begründen können. Dass die Emotionen der Δ Mat-Mäuse anders als üblicherweise antworten, gilt als zentrale Erkenntnis der Untersuchung.

Durch die Formulierungen von Marty et al. wird die Agency von Emotionen sichtbar. Wie Marty et al. im Abstract schreiben, antworten die Emotionen auf das fehlende miR-379/miR-410-Gencluster. Das machen die Forschenden an ängstlicherem Verhalten fest. Damit sind die Emotionen gewissermaßen zwischen zwei Sphären positioniert: dem (fehlenden) Gencluster und Körperinneren einerseits und Verhalten unter bestimmten Umweltbedingungen (Tests) andererseits. Denn

20 In diesem Zusammenhang sprechen sie von »differences in the emotional behaviour of the Δ Mat mice«, »emotional abnormalities« und »their altered emotional state in adulthood« (Marty et al. 2016: 734). Ausdrücke wie »emotional behaviour« und »emotionale state« werde ich in 8.3.4 diskutieren.

laut Marty et al. antworten die Emotionen auf die fehlenden Gencluster und drücken sich in untypischen Verhaltensweisen aus. Sie dienen also gewissermaßen als Verbindungsstück und als Erklärung dafür, die Wissenslücken über die Funktion des miRNA-Genclusters zu schließen. Dass die Forschenden Emotionen eine zentrale Bedeutung beimessen, zeigt sich zudem in diesem Zitat: »The observed anxiety-related avoidance of stressful environments is unlikely to be due to non-emotional factors« (ebd.: 734). Welche Rolle Emotionen genau einnehmen, bleibt jedoch unspezifisch.

Marty et al. sprechen nicht bloß von emotionalem Verhalten oder emotionaler Abweichung, sondern dreimal auch von »emotional responses«. Wenn ich das mit Barads ›ability to respond‹ durch einander hindurch lese, wird etwas anderes erkennbar: die Fähigkeit von Emotionen, zu antworten. Schrader schreibt: »Responsibility in my account entails not a particular response, but an enabling of responsiveness within experimental relations.« (Schrader 2010: 277) Dadurch, dass Marty et al. ›response‹ schreiben, wird es auch hier möglich zu fragen, wer antwortet. Die Frage nach dem ›wer‹ impliziert, dass es eine Agency gibt. Durch die Formulierungen in der Studie wird so die »ability to respond to their experimental probings« (ebd.) deutlich. Dies sei charakteristisch und notwendig, um verantwortungsvolle Experimente durchzuführen, so Schrader. Verantwortungsvoll ist es, andere als bloß menschliche Forschende als Agencies anzuerkennen. Die verschiedenen Verwendungen von ›response‹ ermöglichen das für die Studie von Marty et al. (2016).

»stress response«

Eine andere Art des Antwortens wird in Kombination mit Stress erwähnt. Im Ergebnisteil heißt es: »By releasing corticosterone (CORT) into the circulation, the hypothalamic-pituitary-adrenal (HPA) axis plays a central role in the mammalian stress response.« (Marty et al. 2016: 730) Im Zusammenhang mit dem CORT-Level gibt es zwei weitere ähnliche Nennungen. In allen drei Zitaten wird CORT genannt, im ersten Zitat zudem die HPA-Achse.²¹ Beides sei zentral für die »stress response« (ebd.: 734). Das zweite Zitat beschreibt, dass die CORT-Level der Δ Mat-Mäuse und ihrer WT-Wurfgeschwister unter Stressbedingungen gemessen wurden, und damit das Ausmaß der Antworten. Das impliziert, dass mit dem CORT-Level die Stress-Antwort zu messen sei. Im dritten Zitat wird erwähnt, dass der Phänotyp der Δ Mat-Mäuse sich nicht aufgrund eines niedrigen CORT-Levels als Antwort auf Stress unterscheidet und daher als eine vorübergehend unpassende Antwort zu interpretieren sei.

Anhand dieser Zitate kann die »stress response« mindestens auf zwei Arten gelesen werden: als Antworten auf Stress oder als Stress, der antwortet. Im zweiten Zitat ist bei Marty et al. die Veränderung des CORT-Levels als Antwort auf

21 Zur Erklärung der HPA-Achse, siehe die Analyse von Weaver et al. 2004 (4.4).

Stressbedingungen beschrieben. Im dritten Zitat wird zudem der Phänotyp der Δ Mat-Mäuse, die sich durch ängstlicheres Verhalten von den anderen Mäusen unterscheiden, als Antwort bezeichnet. In den drei Zitaten ist schwer auseinanderzuhalten, welche Rolle Stress, CORT-Level und Phänotyp genau einnehmen und wer jeweils antwortet. Doch durch die unspezifischen Beschreibungen von ›stress conditions‹, ›CORT levels‹, ›response‹ und ›phenotype‹ werden verschiedene ›abilities to respond‹ und somit Agencies erkennbar, wie auch die Un/Möglichkeit, klar zu bestimmen.

Sowohl Barad als auch Marty et al. setzen ›response(ability)‹ in Zusammenhang mit verschiedenen Zeiten beziehungsweise Generationen. Marty et al. sprechen im dritten Zitat vom Phänotyp der Δ Mat-Mäuse. Ich lese das so, dass der Phänotyp auf das antwortet, was vererbt wurde, und offen und unbestimmbar ist für das, was daraus folgt. Was in der Generation vor ihnen passiert ist, ob das miRNA-Gencluster bei Vater oder Mutter gelöscht wurde oder nicht, ist wesentlich für Verhalten und Phänotyp der Mäuse. Den Phänotyp der Δ Mat-Mäuse bezeichnen die Forschenden als »transient, maladaptive response rather than a permanent trait« (ebd.). Sie vermuten, dass die Δ Mat-Mäuse über einen längeren Zeitraum keine phänotypischen Unterschiede mehr zeigen würden, aber aktuell in ihren Tests vorübergehend unpassend antworten. Durch den Begriff ›response‹ wird die ›ability to respond‹ des Phänotyps sichtbar: Die Δ Mat-Mäuse antworten vorübergehend und unangepasst. Indem sie den Phänotyp der Δ Mat-Mäuse hier als vorübergehend und unangepasst ansehen, ermöglichen Marty et al. eine alternative Erklärung zu einem positivistischen Verständnis. Die Phänotypen sind demnach keine fixen Entitäten mit inhärenten Eigenschaften, sondern selbst Agencies.

In den Beschreibungen der Forschenden zeigt sich zudem erneut ein Changieren zwischen bestimmt und unbestimmt. Das ergibt sich aus der Beschreibung von Marty et al., in denen der Phänotyp der Δ Mat-Mäuse einerseits als abweichend, unpassend und anders gilt und damit bestimmt wird. Andererseits beschreiben sie den Phänotyp der Δ Mat-Mäuse als vorübergehend, das heißt er scheint nur temporär oder begrenzt unpassend und wird dadurch wieder anders bestimmt.

»freezing response«

Es gibt in der Studie noch eine dritte Variante des Antwortens, die »freezing response«. Im Ergebnisteil beschreiben Marty et al. die Ergebnisse des »Pavlovian contextual fear conditioning test«, mit dem sie kontextbezogenes Lernen und Erinnern testeten und die Mäuse dazu brachten, einen neutralen Stimulus mit einem aversiven zu assoziieren, der dazu führte, dass die Mäuse sich nicht bewegten. Dies wird als »conditioned fear or ›freezing‹ response« (ebd.: 733, H.i.O.) bezeichnet. Weiter schreiben sie: »All four genotypes showed an increase in their freezing response« (ebd.). Das wiederholt sich in ähnlichen Formulierungen in den nächsten

Zeilen. Im Material und Methoden-Kapitel wird der Test erneut beschrieben, wo »freezing« als Abwesenheit jeder Bewegung mit Ausnahme der Atmung definiert wird (vgl. ebd.: 736).

Im Zusammenhang mit der »stress response« wird der Phänotyp erwähnt. Hier sind es die vier Genotypen, die antworten, und zwar mit Angst und Unbeweglichkeit. Vermutlich sind damit die vier unterschiedlichen Mäusegruppen gemeint. Doch aus welchem Grund schreiben Marty et al. hier dann Geno- und nicht Phänotyp? Die »ability to respond« der Genotypen wird auch hier dadurch erkennbar, dass Marty et al. unterschiedliche Formulierungen wählen und sowohl von Mäusen als auch von Genotypen schreiben. Von Genotypen sprechen sie ausschließlich im Ergebnisteil, wenn sie von den Resultaten ihrer Tests berichten. Hier wird Genotyp mehrfach genannt. Zentrales Interesse ihrer Studie ist es herauszufinden, welchen Effekt die Löschung des Genclusters hat beziehungsweise welchen Einfluss die vier verschiedenen Genotypen ausüben. Wenn Marty et al. von »genotype effect« (ebd.: 730) sprechen, dann im Zusammenhang mit Verhaltensweisen und Reaktionen, die die Mäuse bei den verschiedenen Tests zeigten. Demnach beeinflusst der Genotyp ängstliches Verhalten, Stress oder Erinnerungsvermögen. Somit kann seine »freezing response« als die Fähigkeit, mit Angst zu antworten, verstanden werden.

Im vorherigen Abschnitt habe ich dargestellt, dass der Phänotyp mit Stress antwortet. Der Genotyp antwortet nun mit Unbeweglichkeit, was die Forschenden als Angst deuten. Ihre Ausführungen zum Phänotyp habe ich nicht so gelesen, dass der Phänotyp mit abweichenden Emotionen antwortet. Dies ist aber für den Genotyp möglich, da Marty et al. schreiben, dass dieser mit Unbeweglichkeit (»freezing«) antwortet. Hier wörtlich zu lesen und zu übersetzen, dass das Einfrieren oder die Unbeweglichkeit selbst antworten, gibt die Studie hier nicht her, da Marty et al. die »freezing response« immer auf die Genotypen beziehen: »responses of the four genotypes« und »their freezing response« (ebd.: 734).²² Darin wird die Antwortfähigkeit der Genotypen sichtbar.

»miRNAs regulate«

Ich gehe abschließend der Frage nach, ob neben »response« weitere Formulierungen auf Agencies hinweisen.²³ Ein Begriff, den ich mit Agency assoziiere und an-

22 Marty et al. erwähnen »response« an zwei weiteren Stellen, auf die ich hier aber nicht näher eingehe. In der Einleitung schreiben sie über die miR-134. Diese RNA beeinflusst Dendriten, »which is necessary for homeostatic synaptic depression in response to chronic activity« (Marty et al. 2016: 729). Im nächsten Satz schreiben sie, dass miR-134 die Expression des »cyclic adenosine monophosphate response element-binding protein« (ebd.) reguliere. Im zweiten Zitat ist »response« Teil eines Namens. Hier und auch bei der ersten Nennung eröffnet sich keine neue Perspektive, daher führe ich diese Textstellen nicht weiter aus.

23 Da ich in der Studie auf die Suche nach »response« gegangen war, um diese diffraktiv mit Barads »respons_ability« beziehungsweise den »abilities to respond« zu lesen, habe ich ge-

hand dessen die Handlungsfähigkeit von klassischerweise als passiv verstandenen Forschungsobjekten deutlich werden kann, ist das in der Studie häufig verwendete »regulator« oder »regulate«. Im Diskussionsteil wird einmal von den Folgen gesprochen, wenn »miR-134 is up-regulated« (ebd.) und wenig später die »down-regulation of miR-134 alone« (ebd.: 735) erwähnt ist. Sind diese Stellen, in denen miRNA als Reguliererin beschrieben wird, anschlussfähig an die Vorstellung davon, dass Agency nicht nur menschlich und ein menschlicher Exzeptionalismus nicht zu verfolgen ist? Solche Formulierungen finden sich mehrfach: »the imprinted miR-379/miR-410 gene cluster thus emerges as a novel regulator of the two main post-natal physiological processes« (ebd.: 728). Marty et al. interessieren sich aber speziell für das miR-379/miR-410-Gencluster, das »recently gained much attention as a regulator of neuronal plasticity« (ebd.: 729). Das miR-134 hingegen »regulates the production of the palmitoylation enzyme DHHC9« (ebd.: 729). Verschiedenen miRNAs wird also die Fähigkeit beigemessen, physiologische Prozesse, Genexpression oder neuronale Plastizität zu regulieren.

Der miRNA wird aber nicht nur zugeschrieben, regulieren zu können. Schon im Titel heißt es »enhances anxiety-related behaviour« (ebd.: 728) und im Abstract »affects metabolic adaptation« (ebd.). Weitere Fähigkeiten werden im Verlauf der Studie beschrieben, wie zum Beispiel »modulates dendritic spine number« (ebd.: 729), »function(s) to remediate changes in neural circuits« (ebd.: 734) oder »may participate in plasticity-related phenomena« (ebd.: 735). All diese Beispiele zeigen, dass Agency nicht bloß eine menschliche Eigenschaft beschreibt, sondern zum Beispiel auch miRNA Agency ist. Sie können physiologische Prozesse, Genexpression und neuronale Prozesse regulieren sowie die Produktion spezifischer Enzyme. Damit findet nicht nur eine posthumanistische Perspektive Ausdruck, sondern auch ein anderes Wissenschaftsverständnis. Etwas passendes formuliert Barad: »In an agential realist account, agency is cut loose from its traditional humanist orbit. Agency is not aligned with human intentionality or subjectivity.« (Barad 2007: 177) In der Studie werden so zahlreiche nicht/menschliche Agencies sichtbar.

›Responses‹ im Kontext von Plastizität

Es lässt sich festhalten, dass die Stellen in der Studie, die mit Barads onto-epistemologischen Un/Bestimmtheiten korrespondieren, häufig Beschreibungen von

prüft, ob weitere ›abilities‹ in der Studie vorhanden sind. Zwar habe ich die Nennung von »memory abilities« (Marty et al. 2016: 728) gefunden, doch ergab sich diese Stelle nicht als weiter fruchtbar für ein diffraktives Lesen. Obwohl den Mäusen hier durch die Forschenden spezifische Fähigkeiten zugesprochen werden, eröffnet sich kaum eine andere Lesart, die nicht in einem positivistischen Verständnis verhaftet bleibt.

Abläufen und Prozessen sind, die sich auf Plastizität beziehen. In der Hirnforschung geht man davon aus, dass Gehirne nicht statisch sind, sondern sich in Abhängigkeit zur Umwelt, zum Beispiel in Lernprozessen oder durch bestimmte Erfahrungen, verändern (vgl. Kaiser, Schmitz 2016). Gehirne gelten als plastisch und veränderlich und dies in starker Abhängigkeit zum Körperaußen. Durch dieses Konzept erhält die Außenwelt Einzug in die naturwissenschaftliche experimentelle Forschung, die sich nicht mehr nur auf körperinnere Prozesse konzentriert.

Marty et al. argumentieren, dass das miR-379/miR-410-Gencluster auch wichtig ist für neuronale Plastizität, und sind überrascht, dass ihre Testergebnisse dies nicht bestätigen können:

»We show that the lack of miR-379/miR-410 expression leads to increased anxiety-related phenotypes but, quite unexpectedly, does not impair hippocampus-dependent long-term memory and learning performances as one might have predicted from previous studies highlighting a role of these miRNAs in the plasticity of hippocampal neurons« (Marty et al. 2016: 730).

Sie vermuten, dass in anderen Tests deutlich würde, dass das untersuchte Gencluster in plastizitätsrelevante Phänomene involviert sei (vgl. ebd.: 735).

Die unterschiedlichen »responses« – »emotional«, »stress« und »freezing response« – schließen genau da an, wo sich Naturwissenschaften durch das Konzept von Plastizität öffnen. Die Biolog_innen Gluckman et al. verknüpfen beides und schreiben über die »plastic response« (Gluckman et al. 2007b; Gluckman et al. 2011) Folgendes: »Developmental plasticity in response to early cues about the anticipated nutritional environment, and transgenerational inheritance of that information, are likely to be adaptive processes« (Gluckman et al. 2007b: 151). In diesem Zitat wird zudem die Verbindung zu »memory« hergestellt. Für Marty et al. scheint beides zusammenzuhängen: »miR-134-dependent regulation of expression of the cyclic adenosine monophosphate response element-binding protein mediates the effect of the deacetylase Sirt1 on synaptic plasticity and memory formation« (Marty et al. 2016: 729). Auch in den Beschreibungen von miRNA als Regulatorin findet sich beides wieder, denn was sie laut aktueller Studien regulieren würde, seien Plastizität und Erinnerungsvermögen (vgl. ebd.).

Anders als die »emotional« und »stress responses« taucht im Zusammenhang mit der »freezing response« auch Lernen auf. Beim »Pavlovian contextual fear conditioning test« ist durch das Lernen der Bezug zur Umwelt zentral. Von Interesse ist hier nicht bloß, wie Mäuse sich in bestimmten Käfigen oder in Gesellschaft ihnen unbekannter Mäuse bewegen oder ob ihr CORT-Level in einem engen Gefäß gehalten steigt, sondern mit ihnen wird etwas trainiert. Die »training sessions« beim »object location test«, »Morris water maze test« (ebd.: 732) und »Pavlovian contextual learning fear conditioning test« (ebd.: 733) sind nicht bloß eine Gewöhnungsphase wie beim »three-chamber test« (ebd.: 731), sondern die Tiere sollen

hier etwas lernen. Mit den drei Tests geht es darum zu erfahren, ob das Fehlen von miRNA-Genclustern das räumliche Erinnerungsvermögen sowie Lernen und Gedächtnis beeinträchtigt. Für das Lernen sind der Austausch mit und das Reagieren auf die Umwelt zentral. Die Reaktion, die die Forschenden beim Pavlovschen Test erwarteten, bezeichnen sie als »conditioned fear or ›freezing response« (ebd.: 733, H.i.O.).

Auch bei den Bewegungstests, durch die sie Unterschiede im Angstverhalten bei den Δ Mat-Mäusen fanden, sprechen Marty et al. von Angst (»anxiety«). Beim Pavlovschen Test ist es konditionierte Furcht, das heißt hier kommt zu den Emotionen das Lernen hinzu. Furcht und freezing response treten auf, nachdem etwas gelernt wurde. Die Forschenden befinden sich im Kontext des Lernens im Feld von Un/Bestimmtheiten. Sie müssen damit umgehen, dass sich durch das Lernen Veränderungen ergeben, die zusätzliche Faktoren hineinbringen. Durch den Bezug auf das Konzept der Hirnplastizität öffnen sich Marty et al. explizit nach außen und ermöglichen ein diffraktives Lesen. Dadurch konnte ich zahlreiche ›responses« und Agencies sowie onto-epistemologische Un/Bestimmtheiten herausarbeiten.

8.3.2 Phänomene

Als Bezugspunkt für objektive Beschreibungen von Phänomenen nennt Barad die Spuren, die Versuchsbedingungen auf Körpern hinterlassen (vgl. Barad 2015a: 45). Die Beschreibungen der Versuchsbedingungen in der Studie von Marty et al. verdeutlichen, welche Phänomene sich hier konstituieren und welche Apparate daran beteiligt sind.

Versuchsbedingungen und zeitliche Schnitte

Insgesamt findet sich über die Versuchsbedingungen im Labor am meisten im Kapitel »Material and Methods«. Davor beschreiben Marty et al. bereits die Tests, die sie mit den Mäusen durchführten, und die auch Auskunft über Laborbedingungen geben. Zudem gibt es zwei Stellen, an denen Bedingungen explizit genannt werden. Zu Beginn des Ergebnisteils schreiben Marty et al.: »The surviving adult mice, however, do not display overt abnormalities when maintained in classical mouse husbandry conditions.« (Marty et al. 2016: 730) Gemeint sind hier die Δ Mat-Mäuse. Als zweites werden die Laborbedingungen im Diskussionsteil erwähnt:

»In summary, although deletion of the miR-379/miR-410 gene cluster in mice does not lead to obvious gross abnormalities under normal laboratory conditions, as documented for most other miRNA knockout mice, metabolic and behavioural phenotypes become apparent when these mice must adapt rapidly whether to the metabolic stresses of birth and weaning or, as shown in this study, to stressful environments (the OF and elevated-plus maze tests).« (ebd.: 735)

Bei beiden Zitaten wird deutlich, dass sich die Bedingungen im Labor und die Art, wie die Mäuse gehalten werden, auf die Mäuse und schließlich die Testergebnisse auswirkt. Sie spielen nicht bloß eine Rolle, sondern bringen die Forschungsergebnisse mit hervor. Denn Marty et al. beschreiben in beiden Zitaten, dass die Mäuse, die die Löschnngen von der Mutter erben, unter klassischen Laborbedingungen kein abweichendes Verhalten aufzeigten. Es erweckt den Eindruck, als seien die Halte- und Laborbedingungen ein Grund dafür, dass trotz der vererbten Löschung keine Unterschiede zu anderen Mäusen auftraten. Die Δ Mat-Mäuse unterscheiden sich nur unter bestimmten Testbedingungen von den anderen Mäusegruppen. Nicht allein die Löschnngen von miRNA-Genclustern tragen zur Konstituierung verschiedener Mäusegruppen bei, sondern auch die Laborbedingungen und Tests sind daran beteiligt. Hier wird erkennbar, dass Versuchsbedingungen Spuren auf Körpern hinterlassen, die zu Bezugspunkten werden, um Phänomene zu beschreiben. Denn unter bestimmten Bedingungen, nämlich in den Tests, in denen Mäuse unbekannten Umgebungen oder offenen Bereichen in neuen Käfigen ausgesetzt wurden (OF-Test und EPM-Test (vgl. ebd.)), verhielten sich einige Mäuse anders als andere.

Dass zu den Laborbedingungen nicht nur menschliche Akteure zählen, wie Barad schreibt, sondern auch andere in den Intra-aktionen beteiligt sind, veranschaulicht besonders der Material- und Methodenteil der Studie. Bevor die einzelnen Tests beschrieben werden, fassen Marty et al. hier zusammen, wie die Mäuse gezüchtet und gehalten wurden. Sie versichern, dass alles bestimmten Standards entsprach, und beschreiben zuerst die Käfige und ihre Ausstattung: standardisierte Plastikkäfige mit Futter und Wasser, in denen die Temperatur kontrolliert und es jeweils zwölf Stunden hell und zwölf Stunden dunkel war. Neben der standardisierten Ausstattung der Käfige spielen zeitliche Schnitte eine Rolle: Nach zwölf Stunden ging das Licht aus, nach zwölf weiteren wieder an. Wann das Licht aus war und wann an, simuliert vermutlich Nacht und Tag. Erwähnt wird, dass ein männliches und ein weibliches Tier über Nacht gemeinsam in einem Käfig untergebracht waren, damit sie sich paarten. Die Tests hingegen wurden während der Lichtphase durchgeführt, sobald die männlichen Mäuse zwischen drei und fünf Monaten alt waren. Ein letzter zeitlicher Schnitt wird erwähnt: »Before testing, mice were handled for 3 days.« (ebd.) Zu Probanden wurden also die Mäuse, die männlich waren, zwischen drei bis fünf Monaten alt und für drei Tage behandelt wurden.

Schrader schreibt über Meeresmikroben, ihr »*cicadian rhythm is not a property of the cell, but a phenomenon that includes scientific practice.*« (Schrader 2020: 261) Die Beschreibungen von Marty et al. (2016) zeigen, dass in den Laborkontexten bestimmte zeitliche Einteilungen geschaffen werden. Somit wird deutlich, dass nicht bloß die Forschenden beteiligt sind, sondern auch die verschiedenen Mäuse, die Käfige und Lampen. Darin artikuliert sich auch Zeit nicht als feste Grö-

ße, sondern als ein Phänomen, das intra-aktiv hergestellt wird. Zugleich sind die zeitlichen Schnitte an der Hervorbringung von Phänomenen beteiligt: Testphasen, Mäuse, Käfige und mehr. Welche Phänomene intra-aktiv hervorgebracht werden, führe ich nun aus.

Mäuse und miRNAs

In der Studie materialisiert sich nicht einfach das Phänomen »Maus«. Im Fokus stehen Mäuse mit vier verschiedenen Genotypen. Obwohl es im Abschnitt *Mice housing and breeding* um die Zucht geht, wird nicht genau geschrieben, wie die vier Mäusetypen entstanden, sondern ausschließlich Folgendes erwähnt: »3- to 5-month old male mice backcrossed on the C57BL/6J genetic background for 6-12 generations.« (Marty et al. 2016: 735) Marty et al. nutzten Mäuse dieser Inzuchtlinie »C57BL/6« und paarten sie weiter. Zudem nahmen sie bei einigen genetische Manipulationen vor. Beide Phänomene, Δ Mat- und Δ Pat-Maus, unterscheiden sich voneinander und jeweils von ihren WT-Wurfgeschwistern, die die Löschung nicht erbten und somit als Wildtypen bezeichnet werden. Marty et al. führen nicht aus, wie sie die Löschung vornahmen, und geben nur in einer Bildunterschrift und zu Beginn des Ergebnisteils an, wie sie die Tiere kreuzten, um Δ Pat-Mäuse, Δ Mat-Mäuse und ihre Wurfgeschwister zu erhalten (vgl. ebd.: 729, 730).

Daraus geht hervor, dass die Labormäuse keine fixen Entitäten, sondern Δ Mat-, Δ Pat- und WT-Mäuse Phänomene sind, die intra-aktiv hergestellt werden. Es ist nur zu erahnen, durch welche komplexen Intra-aktionen die Grenzen und Eigenschaften der Phänomene Δ Mat-, Δ Pat- und WT-Mäuse hervorgebracht werden, in denen Technologie und Werkzeuge, Allele, Vererbungsmechanismen, Mäuse, Paarung, Käfige und Lichtverhältnisse beteiligt sind. Auch ist schwer nachzuvollziehen, welche Spuren die Tests genau auf welchen Körpern hinterlassen. Beschreibungen davon, was die Mäuse in den einzelnen Tests tun mussten, können Hinweise dafür liefern: Im »tail suspension test« wurden sie an ihren Schwänzen fixiert und somit bewegungsunfähig gemacht (vgl. ebd.: 736). Bei einigen Tests wurden sie in verschiedene Käfige gesetzt, für einen anderen in ein Schwimmbecken. In den Tests wurden die Mäuse festgeklebt oder Wasser und akustischen Signalen ausgesetzt. Marty et al. wollten messen, ob sich die vier verschiedenen Mäusegruppen unterschiedlich verhielten. Für den »open-field test« (OF) präparierten Marty et al. einen Raum und zählten die Zeit, die eine Maus in der Mitte verbrachte: »Locomotion and exploratory behaviour were measured in a circular arena (height, 30 cm; diameter, 40 cm) located in a room containing no conspicuous features and illuminated by a white light (60 W).« (ebd.: 735) Mit dem »elevated plus maze test« (EPM) wollten sie ängstliches Verhalten messen (vgl. ebd.). Dafür zählten sie, wie oft die Mäuse einen offenen und einen geschlossenen Bereich in einem dafür hergerichteten Käfig betraten. Der »novelty-suppressed feeding test« (NSF) wurde eingesetzt,

»[t]o measure anxiety and depression components of behaviour« (ebd.). Gemessen wurde, wie viel Essen die Mäuse in fünf Minuten zu sich nahmen (vgl. ebd.). In all den durchgeführten Tests werden mit Hilfe von zeitlichen Schnitten, naturwissenschaftlichen Konzepten und verschiedenen Bereichen innerhalb des Käfigs Skalen für Messwerte geschaffen, die Mäuse beispielsweise zu ängstlichen oder depressiven Mäusen machen, und die miRNA zu relevanten Faktoren.

Zentral hierbei sind zudem die miRNAs, die eben bei manchen Mäusen vorliegen, bei anderen nicht, und so auch die Phänomene Δ Pat-, Δ Mat- und WT-Mäuse mit hervorbringen. Denn in den verschiedenen Tests sind die miRNAs nicht bloß irgendein Abschnitt der RNA, sondern gelten als Schaltstelle für Bewegung, Erkundungsdrang, ängstliches Verhalten, Depression, Sozialverhalten, Erinnerungsvermögen oder Angst beziehungsweise deren Ausbleiben. Zugleich sind die miRNAs selbst Phänomene, die intra-aktiv hergestellt werden. Verschiedene miRNA-Gencluster, gekennzeichnet mit verschiedenen Zahlen, nehmen eine prominente Position in der Studie ein, da sich die Forschenden für ihre Rolle in der Gehirnentwicklung und -funktion interessieren: miR-134, miR-379, miR-410. Im Material- und Methodenteil wird zudem deutlich, dass auch chemische Stoffe (»TRI reagent (Euromedex)«), Enzyme (»proteinase K (Sigma)«) (Marty et al. 2016: 737) und DNA sowie bestimmte Werkzeuge zur Messung – »miScript Reverse Transcription kit and the miScript SYBR Green PcR kit (Qiagen)« (ebd.: 737) – an der Hervorbringung des Phänomens miRNA beteiligt sind. Das sind nur einige der sichtbaren, da hier benannten, Aspekte, die intra-agieren und zur Konstituierung des Phänomens miRNA führen.

Marty et al. versuchen mittels Skalen und Messwerten den Stress der Mäuse zu bewerten. Auch hier helfen ihnen zeitliche Schnitte, aber auch andere(s). Das wird deutlich, wenn sie beschreiben:

»Blood samples were obtained from unstressed animals both in the morning (9 am) and evening (7 pm). The time between taking each cage from the animal facility to the experimental room and collecting the blood from all animals in that cage did not exceed 3 min. Samples were also collected after a 30 min restraint inside a 50 ml Falcon tube with holes to allow breathing.« (ebd.: 735)

Durch all das konstituieren sich die untersuchten Phänomene und differenzieren sich aus in verschiedene Mäuse oder miRNAs. Die Laborbedingungen mit den Versuchsanordnungen, Käfigen, Mäusen, Zeitfenstern und Blutproben treten in der Beschreibung von Marty et al. als verschränkt zu Tage.

Anhand dieser Beschreibungen wird wahrnehmbar, dass Versuchsbedingungen hier Spuren auf Körpern hinterlassen. Sie bedingen bestimmte Reaktionen, Antworten und Verhaltensweisen und bringen somit unter anderem die vier verschiedenen Mäusegruppen immer wieder mit hervor. Barad fragt:

»what analytical tools might we use to understand not merely the entanglements of phenomena across scales but *the very iterative (re)constituting and sedimenting of specific configurations of space, time, and matter, or rather, spacetime matter(ing), and the (iterative re)making of scale itself?*« (Barad 2017: G109, H.i.O.)

Marty et al. schreiben über die meisten Tests, dass keine signifikanten Unterschiede gefunden wurden. Was an den Beschreibungen der Tests aber sehr deutlich wird, ist die Art und Weise, wie sich verschiedene Mäuse und miRNAs rekonfigurieren. Mit Barad durch einander hindurch gelesen, wird transparent, wie Raum, Zeit und Materie im Labor konfiguriert werden und wiederum an der Konstituierung anderer Phänomene beteiligt sind.

Apparate

Nach Barad sind Apparate nicht bloß als (Beobachtungs-)Instrumente zu verstehen, sondern als grenzziehende Praxen und spezifische materielle (Re-)Konfigurationen der Welt, die Bedeutung und Materie erlangen (vgl. Barad 2007: 140). Marty et al. benennen zweimal einen Apparat. Im Abschnitt »Sociability Test« erwähnen sie den ersten: »Mice were first habituated to the apparatus for 10 min, with no mice in the cages.« (Marty et al. 2016: 736) Zuvor beschreiben sie die Versuchsanordnungen und die Käfige. Darauf bezieht sich nun hier der Apparat:

»Social behaviour was measured in a rectangular three-chambered enclosure, 60 × 40 cm, with clear walls 22 cm high. Removable doors blocked access from the centre chamber to the outer chambers. Two cages, diameter 8 cm, height 15 cm, were placed in the two outer chambers.« (ebd.)

Was Marty et al. Apparat nennen, ist hier die ganze Versuchsanordnung und dazu gehören spezifische Maßstäbe und Käfigausstattungen, Mäuse und wissenschaftliche Konzepte von sozialem Verhalten.

Auch der Apparat bei Marty et al. (2016) kann als Grenzen ziehend verstanden werden: Die Wände und Türen trennen verschiedene Kammern voneinander ab (»doors blocked access«), ziehen aber nicht nur eine Grenze zwischen den Bereichen des Käfigs, sondern auch zwischen den Mäusen. Denn gemessen wird, wie viel Zeit die Maus mit einer anderen verbrachte, und wie viel allein. Somit führt der Apparat zur Grenzziehung sozial/nicht sozial und zu den Phänomenen Δ Mat-, Δ Pat- und WT-Mäuse.

Die zweite explizite Nennung eines Apparats befindet sich bei der Beschreibung des »Contextual and tone-cued fear conditioning test«: »The experimental device was lit by a 60W white bulb.« (ebd.) Der Apparat bezieht sich also auch hier auf den Versuch. Erneut beschreiben sie in den Sätzen zuvor die Anordnung und Ausstattungen:

»Training and testing of contextual fear conditioning occurred in a rectangular polyvinyl chloride box (length, 35 cm; width, 20 cm; height, 25 cm). The chamber floor was made from stainless steel rods (diameter, 4 mm) spaced 1 cm apart and connected to a shock generator (Campden Instruments, UK).« (ebd.)

In den darauffolgenden Sätzen erklären sie ausführlich, welche Phasen durchgeführt wurden, und wie lange sie jeweils gedauert haben. Anhand vieler zeitlicher Schnitte schildern Marty et al., wie sie im Test vorgingen: wie lange der Ton erklang, wann ein Stimulus einsetzte, nach wie vielen Sekunden oder Minuten das wiederholt wurde. Die Zeit ist hier entscheidend: »The percentage of time spent freezing (which is defined as the absence of all movement except for respiration) served as an index of fear memory.« (ebd.) In diesem experimentellen Apparat wird nicht nur versucht, mit zeitlichen Schnitten herauszufinden, ob sich die Mäusegruppen unterscheiden, sondern die Mäusegruppen werden als verschiedene Phänomene intra-aktiv hergestellt.

Obwohl auch in dem Test am Ende kein Unterschied gefunden wurde, trägt er ebenfalls zur Hervorbringung der Δ Mat-, Δ Pat- und WT-Mäuse und anderen Phänomene (z.B. Angst) bei. Somit können ebenso dieser Test und die Versuchsanordnung als Apparat im agentiell realistischen Sinne bezeichnet werden. Das korrespondiert mit Barads Hinweis, Apparate als Praxen und materielle (Re-)Konfigurationen der Welt zu verstehen, die Phänomene mit hervorbringen (vgl. Barad 2007: 140). Die beiden Zitate sind die einzigen Stellen, an denen Apparate explizit genannt werden. Marty et al. benennen sie im engeren Sinne als Versuchsapparate. Durch das diffraktive Lesen wird sichtbar, dass die Forschenden einiges dazunehmen und vieles mehr zum Apparat gehört. Barad beschreibt, dass Apparate selbst Phänomene sind und keine intrinsischen Grenzen oder einen festen Platz haben (vgl. ebd.). Die obigen Beschreibungen des »Sociability test« verdeutlichen, dass der Apparat selbst ein Phänomen ist. In ihm verschränkt sich vieles und bringt ihn gleichzeitig erst hervor: Mäuse, Käfige, Zeitfenster, Wände, Türen, Verhalten und wissenschaftliche Konzepte von Soziabilität.

In diesem zweiten Teil des diffraktiven Lesens habe ich dargestellt, welche Phänomene sich in der Studie konstituieren und durch welche Tests, Versuchsbedingungen und Apparate das geschieht. Im agentiellen Realismus ist nicht davon auszugehen, dass es fixe Entitäten mit inhärenten Eigenschaften gibt. Vielmehr sind Phänomene ontologische Verschränkungen intra-agierender Komponenten (vgl. ebd.: 344). Das zeigte sich auch in der Studie von Marty et al. (2016), da Laborbedingungen wie zeitliche Schnitte, Käfigausstattungen und Blutproben Spuren auf verschiedenen Körpern hinterlassen, die Phänomene wie Δ Mat-, Δ Pat- und WT-Mäuse sowie miRNAs hervorbringen. Einige der Phänomene, die in der Forschung von Marty et al. konstituiert werden, habe ich durch die Beschreibungen der Laborbedingungen benennen können. Mit Barads Hinweis, dass Phänomene ontologisch

primitive Relationen ohne präexistierende Relata sind (vgl. Barad 2007: 333) beende ich diesen Teil und wende mich den Relationen in der Studie von Marty et al. (2016) zu.

8.3.3 Relationen

In diesem Unterkapitel diskutiere ich Relationen, die in der Studie von Marty et al. (2016) enthalten sind. Die Verwendung des vermittelnden Begriffs »mediate« gibt Auskunft darüber. In diesem Zusammenhang wird mehrfach auch RNA erwähnt. Die Rolle der RNA in dieser Studie weist aber nicht darauf hin, dass sie eine Mittlerinnenposition einnimmt.

»mediate«

In der Studie wird ausschließlich ein vermittelnder Begriff genannt. Zweimal wird »mediate« in der Einleitung erwähnt, wenn Marty et al. den Forschungsstand umreißen. Zuerst schreiben sie, die von miR-134 abhängige Regulation der Expression des »cyclic adenosinemonophosphate response element-binding protein mediates the effect of the deacetylase Sirt1 on synaptic plasticity and memory formation« (Marty et al. 2016: 729). Es ist nicht direkt eine miRNA, sondern die miR-134-abhängige Regulation der Expression eines spezifischen Proteins, die einen Effekt auf den Aufbau synaptischer Plastizität und Erinnerungsvermögen vermittelt. Der Effekt komme von der Deacetylase Sirt1 und werde auf Plastizität und Gedächtnis vermittelt, so Marty et al. wörtlich. Die miR-134 abhängige Regulation der Expression des Proteins steht also zwischen dem Enzym Sirt1 und der Hirnplastizität sowie Gedächtnis. Unklar ist in diesem Satz, ob miR-134 alleine oder nur zusammen mit der Regulation und Expression des Proteins vermittelt. Zudem bleibt unerwähnt, welchen Effekt Sirt1 ausübt. Dieser Satz macht deutlich, dass Marty et al. und auch andere Forschende, auf die sie sich beziehen, durch ihre Untersuchungen versuchen, Prozesse zu verstehen und dafür verschiedene Phänomene in Verbindung bringen. Das »mediate« ist dabei wichtig, um zum Beispiel miRNA, Protein, Sirt1 und Plastizität in einen kausalen Zusammenhang zu setzen.

Hier zeigt sich, dass ein In-Zusammenhang-Setzen stattfindet und daher nicht von separaten Entitäten auszugehen ist, sondern von Phänomenen, die immer auch Relationen sind. Wenn mit Barad angenommen wird, dass es keine Relata ohne Relationen gibt (vgl. Barad 2007: 333), kann an dem Zitat aus der Studie sichtbar werden, dass miR-134, die Regulation und Expression eines Proteins, Sirt1 sowie synaptische Plastizität und Gedächtnis immer schon verschränkt und in Relation existieren und nicht als getrennte Entitäten. Barad bietet in ihrem agentiellen Realismus auch eine Alternative zum traditionellen Verständnis von Kausalität, nach dem separate Entitäten in festen kausalen Zusammenhängen stehen. Sie schlägt vor, es genau andersherum zu betrachten: Zuerst sind die Relationen

und in den Intra-aktionen und der Bestimmung von Phänomenen werden Relata konstituiert. Durch den vermittelnden Begriff wird das auch bei Marty et al. (2016) wahrnehmbar, denn dieser drückt aus, dass die Forschenden versuchen, komplexe (verschränkte) Prozesse zu verstehen, in dem sie bestimmte Relata (Phänomene) benennen.

Wenige Sätze nach der ersten Nennung formulieren Marty et al.: »The neuronal functions ascribed to miRNAs encoded by the miR-379/miR-410 cluster have been inferred mostly from over-expression or antisense-mediated silencing experiments.« (Marty et al. 2016: 729) Vermittelt taucht hier in Kombination mit »antisense« auf. Eine Antisense-RNA ist eine einzelsträngige RNA, die für Regulationsprozesse in Zellen wichtig ist und Expressionen kontrollieren kann (vgl. Simons 2001: 83). Das Vermitteln tritt somit erneut gemeinsam mit RNA auf. Da es hier aber in der Bezeichnung spezifischer Experimente²⁴ genannt wird, die nicht weiter erklärt werden, kann ich nicht weiter ausführen, was hier vermittelt wird.

Ich wende mich daher direkt der dritten Nennung zu, die sich im Ergebnisteil bei der Beschreibung der »stress response« und dem Messen der CORT-Level befindet. »We conclude that stress-mediated activation of the HPA axis occurs normally in the absence of miR-379/miR-410 gene cluster expression.« (Marty et al. 2016: 731) Hier wird beschrieben, dass der Stress etwas vermittelt und zwar die Aktivierung der HPA-Achse. Auch an dieser Stelle in der Studie wird RNA erwähnt. Die Autor_innen vermuten, dass die Vermittlung des Stresses, die zur Aktivierung der HPA-Achse führt, normalerweise auftritt, wenn das miR-379/miR-410-Gencluster nicht exprimiert ist. Die genaue Rolle des miRNA-Genclusters bei der Vermittlung benennen sie allerdings nicht. Auch daran wird deutlich, dass es sich um Relationen handelt und nicht um separate Relata.

Lese ich Marty et al. (2016) mit Barad durch einander hindurch, werden wie im ersten Zitat die Relationen von Stress, HPA-Achse und miRNA-Expression augenfällig. Das »mediated« ermöglicht es, auf die Un/Trennbarkeit der im Satz erwähnten Phänomene hinzuweisen. Es erlaubt zudem, die üblicherweise als getrennt verstandenen Sphären von außen und innen als Relation zu verstehen. Denn gilt Stress als durch äußere Stressbedingungen ausgelöst, wird er durch die Formulierung von Marty et al. (2016) in Zusammenhang mit der Aktivierung der HPA-Achse im Gehirn und der Expression des miR-379/miR-410 Genclusters gesetzt. Der Stress, der hier als vermittelnd beschrieben wird, steht somit zwischen Körperäußerem und -innerem und beides wird so als un/trennbar denkbar.

24 Marty et al. (2016) geben nicht an, welche »silencing experiments« gemeint sind und was genau dabei gemacht wurde. Unter »gene silencing« versteht man die epigenetische Modifikation der Genexpression, was zur Inaktivierung aktiver Gene führt. Dies findet während der Entwicklung und Differenzierung statt, um Gene zu unterdrücken, deren Produkte in spezifischen Zellen oder Geweben nicht gewünscht sind (vgl. Filipowicz, Paszkowski 2013).

Marty et al. beschreiben, dass sie die Mäuse für 30 Minuten in kleine Röhren steckten, und sprechen dann von »stress conditions« (Marty et al. 2016: 731). Sie unterscheiden demnach Stressbedingungen von Stress. Im ersten Satz dieses Abschnitts erklären Marty et al.: »By releasing corticosterone (CORT) into the circulation, the hypothalamic-pituitary-adrenal (HPA) axis plays a central role in the mammalian stress response.« (ebd.: 730) Neben Stress und Stressbedingungen sprechen sie von »stress response« (s. 8.3.1). In diesem Zitat ist nun die HPA-Achse als zentral für die Stress-Antwort bezeichnet. Aus dem anderen Zitat ging hervor, dass der Stress die Aktivierung der HPA-Achse vermittelt. Welche Rolle schreiben Marty et al. Stress, Stressbedingungen und -Antwort sowie der HPA-Achse und ihrer Aktivierung in einer klassisch kausalen Erklärung zu? Was gilt als Ursache und was als Folge?

Liest man beide Zitate von Marty et al. (2016) mit Barads agentiellem Realismus durch einander hindurch, wird ein anderes Verständnis von Kausalität sichtbar. Denn in der Studie finden sich verschiedene Aussagen über Zusammenhänge und Wirkweisen: Die HPA-Achse beeinflusst die Stress-Antwort und Stress vermittelt die Aktivierung der HPA-Achse. Agentiell realistisch gedacht, wird Abstand genommen von der Vorstellung, es mit separaten und präexistierenden Relata zu tun zu haben, die immer schon in spezifischen Beziehungen zueinanderstehen und deren kausale Zusammenhänge Forschende bestimmen können. Stattdessen mit Barad von »relata-within-phenomena« (Barad 2007: 140) auszugehen, bietet sich auch bei dieser Erwähnung der Autor_innen von »mediate« an, da sie hier unterschiedliche Aussagen über das Verhältnis von Stress, HPA-Achse, Genexpression und miRNA treffen und so deutlich machen, wie schwierig es ist, kausale Zusammenhänge zu benennen. Wie in 8.3.2 dargestellt, bestehen die verschiedenen Phänomene aus Relationen und sind weder als Entitäten noch als Relata misszuverstehen. Stress und HPA-Achse werden damit als ontologisch verschränkt verstehbar.

RNA als Mittlerin?

In allen drei Zitaten kam immer auch RNA vor: »miR-134 dependent regulation« (Marty et al. 2016: 729), »miRNAs encoded by the miR-379/miR-410 cluster« (Marty et al. 2016: 729) und »in the absence of miR-379/miR-410 gene cluster expression« (ebd.: 731). Ich habe oben bereits diskutiert, dass mir im ersten Zitat unklar war, ob bloß die miR-134 vermittelt, oder ob es die miR-134-abhängige Regulation der Expression des Proteins ist und nicht die miRNA an sich. Auch im zweiten Zitat, in dem die »antisense-mediated silencing experiments« erwähnt werden, ist ungewiss, was genau vermittelt und welche Rolle die RNA dabei spielt. Da ich bei der Recherche zum Begriff »antisense« aber vor allem eine RNA (Antisense-RNA) fand, liegt es nahe, dass diese RNA die Stilllegung (»silencing experiments«) vermittelt. Beim dritten Zitat ist es eindeutig der Stress, der vermittelt, und nicht die RNA.

Zwei der drei Zitate können also Hinweis darauf geben, dass auch in der Studie von Marty et al. (2016) RNA eine Mittlerinnenfunktion zugeschrieben wird. Ganz eindeutig ist das in den Formulierungen aber nicht.

Ich hatte unter 8.3.1 bereits ausgeführt, dass RNA als eine Agency in der Studie erkennbar wird. Das habe ich an den Beschreibungen von Marty et al. (2016) festgemacht, in denen sie miRNA verschiedene Funktionen zuschreiben. Das betrachte ich erneut, um zu klären, ob anhand dessen RNAs als Mittlerinnen verstanden werden können. Was sich in Formulierungen wie »deletion of the miR-379/miR-410 gene cluster affects metabolic adaptation« (ebd.: 728) ausdrückt und zentral ist für die Studie, sind die Effekte des Fehlens der miRNA-Genexpression. Aber auch Beschreibungen davon, was eine vorhandene miRNA beeinflusst – zum Beispiel »miR-134 [...] limits dendritic spine growth« (ebd.: 729) oder »miR-134 interferes with dendritic spine morphology« (ebd.: 734) – liefern keinen Hinweis darauf, dass RNA hier als Mittlerin fungiert.

Ein Grund dafür, dass die RNA hier nicht eindeutig als Mittlerin fungiert, könnte daran liegen, dass Marty et al. nicht fragen, was zur Inaktivierung des miR-379/miR-410-Genclusters führt. Sie simulieren mit der Löschung des miRNA-Genclusters die Inaktivierung und führen sie selbst herbei. Bei Gaeini et al. ((2016), s. 8.2) ging es darum, dass spezifische mütterliche Fitness die RNA-Expression beeinflusst und anhand dessen wurde das Osteoporose-Risiko des weiblichen Nachwuchses abgeleitet. Die RNA war hier Mittlerin zwischen Körperäußerem und -innerem und verschiedenen Generationen. Doch Marty et al. interessieren sich nur für die Rolle bestimmter miRNA-Gencluster und nicht dafür, was zu deren In/Aktivierung führt. Somit nimmt die RNA hier eine andere Position ein als bei Gaeini et al. (2016). Der Abschnitt zu Relationen fiel aus diesem Grund kürzer aus.

8.3.4 Verschränkungen

Bereits im vorangegangenen Abschnitt konnte durch das diffraktive Lesen die Perspektive einer relationalen Ontologie gestärkt werden. Damit hängen auch die zahlreichen Verschränkungen zusammen, die sich bei Marty et al. (2016) artikulieren. Im diffraktiven Lesen mit Gaeini et al. ((2016), s. 8.2) habe ich drei Arten von Verschränkungen vorgestellt: raumzeitliche, transgenerationelle sowie Verschränkungen von menschlich/nicht-menschlich. All diese habe ich auch bei Marty et al. (2016) gefunden.

Raumzeitliche Verschränkungen

Was Barad zu Raum und Zeit ausführt, artikuliert sich auch im Interesse von Marty et al., die den epigenetischen Vererbungsmechanismus Genomic Imprinting untersuchen. Genomic Imprinting enthält verschiedene Bedeutungen von Zeit. Denn es geht dabei nicht bloß um Vererbung und die Weitergabe von der einen an die

nächste Generation, sondern auch darum, dass dieses Phänomen nur zu bestimmten Zeitpunkten wirkt: »Dadurch, dass die Effekte auf einen bestimmten Abschnitt der Embryonalentwicklung begrenzt sein können, wird die Wirkungsweise des Phänomens ›Genomic Imprinting‹ um den Faktor Zeit erweitert.« (Mauss 2004: 151, H.i.O.) Marty et al. interessieren sich nicht bloß für die pränatalen Folgen, sondern vor allem für die postnatale Entwicklung, wie sie in ihrer Einleitung schreiben (vgl. Marty et al. 2016: 729).

Dass verschiedene Zeiten in der Studie relevant gemacht werden, zeigt sich in zwei Zitaten: »Besides their well-established roles in pre-natal growth and placentation, it has become apparent that imprinted, protein-coding genes also modulate important postnatal physiological functions, notably energy homeostasis and neurobehavioural processes.« (ebd.: 728) Marty et al. erwähnen die Zeit der Entwicklung vor der Geburt und die Zeit nach der Geburt. Hier werden nicht nur verschiedene Zeiten sichtbar, sondern ›spacetime matters‹. Denn zusammen mit dem pränatalen Wachstum wird ›placentation‹ erwähnt und in der Entwicklung der Plazenta verschränken sich Zeit, Raum und Materie: Die Plazenta entsteht gemeinsam mit dem Fötus in der Gebärmutter, denn sie wächst mit der Zeit der Schwangerschaft und wird ebenfalls ausgegetragen. Die Plazenta ist ein für kurze Zeit bestehendes Organ, das sich in der Gebärmutter bildet und diese mit der Geburt wieder verlässt. Auch in der Formulierung ›postnatal physiological functions‹ werden zugleich zeitliche und räumliche Beschreibungen gemacht. Die verschiedenen Zeiten sowie Raum und Materie sind nicht isoliert zu verstehen, sondern werden als ›spacetime matters‹ verschränkt verstehbar.

Auch aus diesem Satz geht hervor, dass Marty et al. verschiedene Zeiten thematisieren: »Whereas during development and the immediate post-natal period the miR-379/miR-410 gene cluster is expressed in many non-neuronal tissues, in adulthood it is expressed mostly, if not exclusively in the brain.« (ebd.: 729) Mit dieser Aussage ist zunächst nur beschrieben, dass für bestimmte Zeiten ein Ort relevanter ist (›non-neuronal tissues‹) als für andere Zeiten (›the brain‹). Mauss schreibt über Genomic Imprinting: »Ende der 1990er Jahre hat sich der Ansatz auch soweit ausdifferenziert, dass er auch als gewebespezifisch und zeitspezifisch agierend beschrieben wird.« (Mauss 2004: 151) Auch bei Marty et al. (2016) werden verschiedene Zeiten sowie der Zusammenhang von Zeit, Raum und Materie erkennbar. Darin drückt sich die Verschränkung von Zeit und Materie aus und auch, dass verschiedene Räume und verschiedene Zeiten untereinander verschränkt sind.

Im ersten Zitat stellten Marty et al. die Zeiten vor und nach der Geburt gegenüber. Im zweiten Zitat stehen die beiden Zeiten (›development and the immediate post-natal period‹) dem Erwachsenenalter gegenüber. Sie werden beide einzeln genannt, doch artikulieren sie sich durch die gemeinsame Eigenschaft (›expressed in many non-neuronal tissues‹) als verschränkt. Zudem unterscheiden sich die Zeiten nach der Geburt in beiden Zitaten: Einmal schreiben Marty et al. ›post-

natal«, beim zweiten Mal »immediate post-natal«. Das weist darauf hin, dass die Forschenden eine genaue Betrachtung von Zeit(-fenstern) wichtig finden und es einen Unterschied macht, ob irgendwann nach der Geburt oder sofort nach der Geburt das Gencluster expressiert ist. Zeit und Raum sind nach Barad verschränkt und genauso un/bestimmt wie andere Phänomene. Durch die unterschiedlichen Nennungen von Zeit, Raum und Materie in der Studie wird es ebenfalls möglich, diese nicht als feste Größen zu verstehen, sondern als ebenso intra-aktiv hergestellte Phänomene wie die Mäuse oder miRNAs (s. 8.3.2). Die Zitate unterstreichen, dass es sich nicht um einheitliche, äußere Parameter handelt, anhand deren zum Beispiel spezifische Entwicklungen abgelesen werden können. Vielmehr materialisieren sich auch Zeiten und Räume mit den untersuchten Phänomenen in der Studie immer wieder anders.

Das drückt sich auch in einem weiteren Zitat von Marty et al. (2016) aus: »anxiety-phenotypes observed in these two small RNA KO mouse models may therefore originate at least in part, from adverse early life experiences.« (Marty et al. 2016: 735) Denn was im Erwachsenenalter zu beobachten ist, stammt vermutlich aus Erfahrungen in jüngerem Alter und somit tritt auch hier die Verschränkung verschiedener Zeiten zum Vorschein. Dadurch, dass Marty et al. »may« und »at least« schreiben, benennen sie zudem, dass sie etwas vermuten. Das weist nicht bloß darauf hin, wie schwer der Zusammenhang beider Zeiten zu bestimmen ist, sondern auch darauf, dass Zeiten verschränkte Phänomene und un/bestimmt sind. Durch das Interesse an Genomic Imprinting und der Methode des Löschens eines Genclusters in der Studie werden mit raumzeitlichen auch transgenerationale Verschränkungen erkennbar, wie ich nun diskutiere.

Transgenerationale Verschränkung

Durch Genomic Imprinting kann die Expression gehemmt sein. Marty et al. imitieren die Effekte des Genomic Imprinting durch die Löschung des Genclusters. In folgendem Zitat fassen sie die Ergebnisse ihrer Studie zusammen:

»We found that adult mice that inherited the deletion from the mother (Δ Mat mice) displayed increased reactivity to anxiety-causing stimuli with no depression-like symptoms. As expected, Δ Pat mice that inherited the deletion from the father behaved like their WT littermates, further demonstrating that the differences in the emotional behaviour of the Δ Mat mice are due to the deleted version of the miRNA cluster and not to other confounding factors.« (Marty et al. 2016: 734)

Zentral ist demnach, von welchem Elternteil die Löschung geerbt wird. Das, was bei der Elterngeneration gelöscht wurde, wirkt sich in der nächsten aus. Um das Verhalten der Δ Mat-, Δ Pat- und WT-Mäuse zu erklären, ist notwendigerweise ihre Verbindung mit den Eltern einzubeziehen. Eine der Mäuse alleine kann den For-

schen den keine Auskunft darüber geben, welche Funktion das miR-379/miR-410-Gencluster haben könnte. Die Mäuse, mit denen sie verschiedene Tests durchgeführt haben, sind alleine in der Verschränkung mit ihren Eltern eine Erklärung für die Rolle des Genclusters.

Hier artikuliert sich etwas, was Barad über das quantenphysikalische Diffraktionsexperiment und »quantum eraser« formuliert: »these experiments show that while it is possible to erase particular marks that seem to suggest the ›past‹ has been changed, it is a fantasy to believe that this constitutes an erasure of all traces of this history.« (Barad 2018) Barad spricht über eine völlig andere Löschung, als es Marty et al. tun, aber in beiden Zitaten ist eine Löschung relevant. Die Löschung von Allelen in der Elterngeneration wird an die Kinder vererbt und somit die Vergangenheit an sie weitergegeben. Im Erbvorgang werden Spuren der Vergangenheit weitergereicht und das auch in der Studie von Marty et al. (2016), obwohl bei manchen Mäusen der Elterngeneration etwas gelöscht wurde. Wichtig ist, dass aber trotz einer Löschung Spuren erhalten bleiben. Das veranschaulichen Marty et al., die andere Verhaltensweisen bei den Mäusen erwarteten, die die mütterliche Löschung erben:

»one class of individuals carrying a constitutive deletion of paternal origin (the so-called Δ Pat in which the miRNA genes should be expressed normally since only the paternal silent allele is deleted) and one class of individuals carrying a constitutive deletion of maternal origin (the so-called Δ Mat in which the miRNA genes should no longer be expressed since the maternal active allele is deleted).« (Marty et al. 2016: 730)

Auch etwas, was nicht (mehr) da war, hinterlässt also Spuren in der nächsten Generation. Das korrespondiert mit Schraders Ausführungen zum Rhythmus von Meeresmikroben, den sie als »hauntings« bezeichnet: »manifesting a memory, a transgenerational communication, or an inheritance [...] that is not locable within a present individual.« (Schrader 2020: 256)

Diese transgenerationellen Zusammenhänge lösen die Grenzen zwischen Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft sowie zwischen zwei Generationen auf und betonen die Verschränkungen. Dennoch lassen sich hier keine auffallenden Anknüpfungspunkte zu Barads Verständnis von Verschränkung finden. Ähnlich wie im vorherigen Abschnitt (8.3.3) führe ich auch das darauf zurück, dass Marty et al. sich nicht dafür interessieren, was Genomic Imprinting und elternabhängige Vererbung auslösen könnte. Bei Gaeini et al. ((2016), s. 8.2) äußern sich transgenerationelle Verschränkungen vor allem darin, dass die mütterliche Fitness als Umwelteinfluss auf die Gesundheit der nächsten Generation untersucht wurde. Was ich hier zudem fand, waren transgenerationelle Verschränkungen, die auch Barads Ausführungen zu Gespenstern der Vergangenheit anknüpfbar machten. Sie schreibt: »Hauntings are not immaterial, and they are not mere recollections or re-

verberations of what was. Hauntings are an integral part of existing material conditions.« (Barad 2018a: 227)²⁵ Durch die transgenerationelle Weitergabe, die sich im Genomic Imprinting zeigt oder in der Vererbung einer Löschung, kann man es auch so formulieren, dass die Elterngeneration in den untersuchten Mäusen als Gespenster materialisiert sind. Die Vergangenheit spukt gewissermaßen in der nächsten Generation. Bei Marty et al. (2016) tut sie das aber auf besondere Weise. Schließlich sind es Löschungen und Leerstellen, die manche Nachfahr_innen (Δ Mat- und Δ Pat-Mäuse) erben.

Genauso wenig, wie die verschiedenen Zeiten sich scharf voneinander trennen lassen, ist es bei den Generationen möglich. »Spacetime matters« sowie Mäuse zweier Generationen stellen sich vielmehr als verschränkt dar. Das bedeutet, dass weder von separaten Entitäten noch von Zeit und Raum als feste Größen auszugehen ist. Marty et al. heben die Zusammenhänge verschiedener Zeiten, Räume und Generationen hervor. Dadurch ist es möglich, sie nicht als feste Größen, sondern als ebenso intra-aktiv und agentuell konstituiert zu verstehen: »Entities, space, and time exist only within and through their specific *intra-actions*« (Barad 2017: G111, H.i.O.).

Speziesübergreifende Verschränkungen

Auffällig ist, dass die Studie trotz der Untersuchung von Mäusen in der Zeitschrift *Human Molecular Genetics* erschienen ist. Aufgrund des Titels der Zeitschrift könnte man annehmen, dass es hier um Untersuchungen geht, die sich auf Menschen beziehen. Im Inhaltsverzeichnis der Ausgabe von Februar 2020²⁶ finden sich vier Titel, die darauf hinweisen, dass mit Mäusen geforscht wurde (vgl. Gao et al. 2020; Hamoudi et al. 2020; Sundar et al. 2020; Zhu et al. 2020): einer, in dem der Fadenwurm *C. elegans* (vgl. Benbow et al. 2020) genannt ist, und einer, in dem ein Tiermodell im Titel erwähnt wird (vgl. Chen et al. 2020). Es scheint nicht unüblich, dass in dieser Zeitschrift Studien erscheinen, in denen mit Tieren geforscht wurde. Dadurch, dass mit Hilfe von Tierstudien wissenschaftliche Debatten um menschliche Genetik geführt werden, können Verschränkungen menschlicher und nicht-menschlicher Lebewesen zu Tage treten.

Das verdeutlichen zwei Zitate aus der Studie von Marty et al. (2016). In der Einleitung schreiben Marty et al.: »the miR-379/miR-410 gene cluster (also known as C14MC in humans)« (Marty et al. 2016: 729). Dadurch, dass es bei Mäusen anders heißt als beim Menschen, machen sie einen Unterschied zwischen beiden. Zugleich benennen sie damit auch die Ähnlichkeit, da bei beiden Spezies das gleiche Gencluster zu finden ist. Somit wird es möglich, die Einteilung in menschlich/nicht-

25 Barad wie auch Schrader beziehen sich mit dem Ausdruck »hauntings« auf Jacques Derridas Ausführungen zu Gespenstern und seiner Hauntologie (vgl. Barad 2010, Schrader 2010).

26 Die Ausgabe 29(3), 1 February 2020 war zum Zeitpunkt meiner Analyse die aktuelle Ausgabe.

menschlich zu hinterfragen und auf die Verschränkung dieser beiden Kategorien hinzuweisen. Die Spezies werden unterschiedlich bezeichnet und ihre Gencluster anders benannt. Zugleich schreiben die Forschenden, dass Mäuse und Tiere das gleiche Gencluster haben. Die Verschiedenheit zwischen beiden wird damit wieder aufgehoben.

Die beiden Gencluster finden im Diskussionsteil der Studie erneut Erwähnung: »Genome-wide studies on anxiety in humans identified a link to a region in the Dlk1-Dio3 locus on chromosome 14q32. Whether deficiencies in the biology of miRNAs (also named C14MC) also lead to emotional impairments in humans awaits further investigation.« (ebd.: 735) Im ersten Satz verweisen die Autor_innen auf eine andere Studie, die Ängstlichkeit und den Dlk1-Dio3-Bereich schon in Verbindung brachte. Demnach ähneln sich Mäuse und Menschen nicht nur aufgrund des gleichen Genclusters, sondern eventuell auch im Verhalten, das sich als Folge des Verlustes von miRNA zeigen könnte. Durch diese Aussagen kann die Trennung von Menschen und Tieren brüchig werden, argumentieren die Forschenden doch stark für ihre Ähnlichkeit. Darin drückt sich nicht bloß die Ähnlichkeit aus, sondern eine grundlegend andere Haltung, die sich gegen einen menschlichen Exzeptionalismus wendet. In der Studie wird so eine Perspektive eröffnet, nach der die Einteilung und Hierarchisierung von menschlich/nicht-menschlich obsolet wird, da in der Beschreibung der Gleichartigkeit von Menschen und Mäusen ihre Verschränkungen sichtbar werden. Die Mäuse sind als nicht-menschlich und menschlich zugleich konstituiert.

Das veranschaulichen weitere Begriffe, die Marty et al. in der Darstellung der Mäuse nutzen und die überwiegend aus Beschreibungen von Menschen bekannt sind. Ich führe hier zunächst einen Satz an, den ich schon in 8.3.1 erwähnt habe und bei dem mir mehrere Begriffe auffielen. Im Drei-Kammer-Test untersuchten Marty et al. »social preference behaviour« und »sociability« (ebd.: 731): »In this test, mice are presented with a free choice between spending time in a chamber containing an unfamiliar mouse (social) or in an empty chamber (non-social).« (ebd.) Beschrieben wird zuerst, dass die Mäuse die freie Wahl hätten, welche Kammer sie betreten.²⁷ Aber was ist eine freie Wahl, wenn ein Lebewesen als Labormaus Teil eines Experiments ist und in einem Käfig die eine oder die andere Kammer betreten kann? Die freie Wahl nicht nur als menschliche Fähigkeit zu verstehen, sondern auch als eine von Mäusen, nivelliert die Gegenüberstellung menschlicher und nicht-menschlicher Lebewesen. Statt die Spezies als gegensätzlich zu denken, wird somit möglich menschlich/nicht-menschlich in ihren Verschränkungen aufzufassen.

27 Die Formulierung »free choice« kann auf so etwas wie einen freien Willen verweisen. Siehe hierzu auch Fußnote 14 in 8.2.4.

Ob sich die Mäuse im Test für eine Kammer entscheiden, in der eine ihnen unbekannte Maus ist, oder für eine leere Kammer, bezeichnen Marty et al. als sozial beziehungsweise nicht-sozial. Da hier einerseits menschliche Konzepte auf Tierverhalten angewandt werden und andererseits eine Trennung von menschlich/nicht-menschlich vorgenommen wird, zeigt sich eine ambivalente Gleichzeitigkeit aus Aufrechterhalten und Nivellieren der Unterscheidung von Tier und Mensch. Im gleichzeitigen Benennen und Ignorieren der Unterschiede wird die Verschränkung dieser Kategorien transparent. Das Verhalten der Mäuse als sozial oder nicht-sozial zu bewerten, legt menschliche Maßstäbe an und kann somit als unpassend verstanden werden. Zugleich ermöglicht es, die Trennung von menschlich/nicht-menschlich zu überwinden.

Dass Marty et al. Unterschiede zwischen Mäusen und Menschen machen und gleichzeitig nicht machen, offenbart sich auch in der Verwendung weiterer Begriffe. Die Forschenden interessieren sich für die emotionalen Reaktionen der Mäuse und beschreiben sie zum Teil als ängstlich oder depressiv. Begriffe wie Gefühle, Emotionen und Depressionen finden sich in der Studie vor allem in Zusammenhang mit den Tests, die Marty et al. mit den Mäusen durchführen. Im Material- und Methodenteil beginnen sie ihre Beschreibungen immer mit einem Satz darüber, was mit einem Test gemessen wurde: »To measure anxiety-related behaviour, mice were placed in an automated EPM« (ebd.: 736). Die Ausführungen der nächsten Tests beginnt ähnlich: »To measure anxiety and depression components of behaviour, the NSF test was carried out« (ebd.). Und: »The tail suspension test (TST) assesses depression-related behaviours.« (ebd.)

Tierisches Verhalten mit Merkmalen zu beschreiben, die üblicherweise menschliches bezeichnen, bedeutet, Konzepte anzuwenden, die in Bezug auf Menschen häufig sehr komplexe, umfassende und diffuse Phänomene umfassen. Das bei Tieren durch einzelne Tests zu finden, birgt die Gefahr einer starken Komplexitätsreduktion. »Depression-like behaviour« (ebd.: 730) zu testen, indem man die Mäuse beispielsweise an ihrem Schwanz festklebt und beobachtet, ob sie sich bewegen oder nicht, beschreibt etwas grundlegend anderes als depressives Verhalten bei Menschen. Mir geht es hier aber nicht darum, die Anwendung einiger Begriffe (sozial, ängstlich, depressiv) zu kritisieren oder zu diskutieren, inwiefern die Tests diese Verhaltensweisen oder Eigenschaften überhaupt zeigen können. Ziel des diffraktiven Lesens ist es vielmehr zu fragen, welche Tier-Konzepte sich in der Studie artikulieren, und zu diskutieren, was die Bezeichnung des Verhaltens der Mäuse als »depression-like symptoms« (ebd.), »emotional state« (ebd.: 734) oder »emotional behaviour« (ebd.: 735) über die Verschränkung von menschlich/nicht-menschlich aussagt.

Wie erwähnt sehe ich hierin die Möglichkeit, eine solche dichotome Gegenüberstellung zu hinterfragen. Die Übertragung menschlicher Zuschreibungen auf Mäuse fordert den Dualismus von Mensch/Tier heraus und stellt ihre vermeintlich

inhärente Verschiedenheit in Frage. Auch Mäuse als depressiv und ihr Verhalten als emotional zu bezeichnen, macht die Verschränktheit von Menschen und Nicht-Menschen deutlich. Das eine kann es ohne das andere nicht geben: die Menschen nicht ohne die Nicht-Menschen und das Unterscheiden nicht ohne die Verschränkungen. Auch Barad spricht Zweifaches an: »Posthumanism [...] is about taking issue with human exceptionalism while being accountable for the role we play in the differential constitution and differential positioning of the human among other creatures (both living and nonliving).« (Barad 2007: 136) Das korrespondiert mit den Beschreibungen der Mäuse bei Marty et al. (2016) und kann einem menschlichen Exzeptionalismus entgegenwirken, denn es sind nicht bloß Menschen, die emotional oder depressiv sind.

Die Kritik an einem menschlichen Exzeptionalismus darf nicht verstanden werden als ein Aus-der-Verantwortung-Ziehen der Menschen. Haraway insistiert in ihren Auseinandersetzungen mit Labormäusen auf einen ähnlichen Punkt und führt unter anderem die Ähnlichkeit von Menschen und Mäusen an:

»I believe we must take non innocent responsibility for using living beings in these ways and not to talk, write, and act as if OncoMouse™, or other kinds of laboratory animals, were simply test systems, tools, means to brainier mammals' ends, and commodities. Like other family members in Western biocultural taxonomic systems, these sister mammals are both us and not-us; that is why we employ them.« (Haraway 1997: 82)

In dieser Beschreibung hebt auch Haraway die Verschränkung von Tier und Mensch hervor: Sie sind wir und sie sind nicht wir. Sie sind anders, aber zugleich auch den Menschen ähnlich, und das ist der Grund, warum sie für Untersuchungen herangezogen werden. Das zeigt sich auch in der Untersuchung von Marty et al. (2016), da die Mäuse so sind wie Menschen, zugleich aber auch von diesen unterschieden werden. Hierin wird auch eine naturkulturelle Verschränkung sichtbar.

Barad beschreibt ihr Verständnis von Posthumanismus wie folgt weiter: »Posthumanism [...] refuses the idea of a natural (or, for that matter, a purely cultural) division between nature and culture, calling for an accounting of how this boundary is actively configured and reconfigured.« (Barad 2007: 136) Werden in einer binären Logik der Mensch der Kultur und das Tier der Natur zugeordnet, öffnet sich im Verhältnis von Menschen und Mäusen in der Studie von Marty et al. (2016) eine andere Perspektive. Im Ergebnisteil ist zu lesen: »we generated two classes of genetically comparable heterozygotes from two reciprocal parental crosses« (Marty et al. 2016: 730). Die Forschenden beschreiben hier, dass sie zwei Klassen von Mäusen hergestellt haben. Inwiefern die Mäuse hier auf der Seite der Natur zu verorten sind, die der Kultur gegenübersteht, ist damit fraglich. Ihre Existenz ist nicht einfach naturgegeben, sondern basiert auf technischen Möglichkeiten und langen Inzuchtlinien, auf genetischen Manipulationen und

anderen Forschungspraxen. Im Betonen der Ähnlichkeiten zwischen Mäusen und Menschen habe ich zugleich die grenzziehenden Praxen des unterschiedlichen Bezeichnens benannt. Sie sind wir und sie sind nicht wir, wie es Haraway formuliert. In diesem weiteren Zitat aus der Studie wird die gleichzeitige Konstituierung der Grenze zwischen Menschen und Mäusen sowie ihre Verschränkung als naturkulturell erkennbar.

In ihrem Text über die genetisch manipulierten Mäuse, die zur Erforschung von Tumoren gezüchtet wurden, schreibt Haraway: »OncoMouseTM is the first patented animal in the world. By definition, then, in the practices of materialized refiguration, s/he is an invention. Her natural habitat, her scene of bodily/genetic evolution, is the technoscientific laboratory« (Haraway 1997: 79). Haraway führt aus, wie die Einteilung in Natur und Kultur unmöglich wird, wenn unter technisch weitentwickelten Bedingungen und hochspezialisierten Abläufen Tiere im Labor hergestellt werden. Etwas Ähnliches findet in jeder Untersuchung statt, in der Mäuse oder andere Tiere gezüchtet werden, um bestimmte Forschungsfragen zu beantworten. Die Künstlichkeit dieser Praxen wird auch in der Studie von Marty et al. (2016) deutlich, die spezifische Mäuse produzierten: »backcrossed on the C57BL/6J genetic background for 6-12 generations.« (Marty et al. 2016: 735) Zugleich scheint es sich um einen Untersuchungsbereich zu handeln, welcher der Natur zugeschrieben wird. In dieser Laborpraxis wird ebenfalls die naturkulturelle Verschränkung von Menschen und Mäusen ersichtlich, denn Referenzpunkt für die Labormäuse sind Verhaltensweisen und Erkrankungen, die bei Menschen diagnostiziert werden.

Neben diesen zahlreichen Arten von Verschränkungen artikulierten sich in der Studie von Marty et al. (2016) onto-epistemologische Un/Bestimmtheiten (s. 8.3.1). Dies wurde durch das Changieren der Forschenden zwischen der Betonung der Relevanz der Untersuchung und der Wissenslücken sowie der Rolle des Nichts augenscheinlich. Löschungen, Leerstellen und Tod illustrieren eine Besonderheit der Studie, die auf die Un/Trennbarkeit von da sein/nicht da sein, verfügbar/nicht verfügbar, bestimmt/unbestimmt und lebendig/tot verweist. Auf Un/Bestimmtheiten und auf einige nicht-menschliche Agencies wiesen die miRNAs und unterschiedliche »responses« hin. Durch emotional, stress und freezing response entfalteten sich verschiedene Fähigkeiten zu antworten und darüber Agencies. Anhand der beschriebenen Versuchsbedingungen, Apparate und zeitlichen Schnitte konnte zudem nachvollziehbar gemacht werden, wie die Phänomene »Mäuse« und »miRNAs« intra-aktiv hergestellt werden (8.3.2). Die Studie ermöglicht die Perspektive einer relationalen Ontologie, auch wenn die RNA keine explizit vermittelnde Rolle einnimmt (8.3.3). Insgesamt konnten sich entlang der vier Anknüpfungspunkte die Studie von Marty et al. (2016), Texte von Barad, Haraway und Schrader überlagern und so schwimmt im diffraktiven Lesen alles auf produktive Weise, um Diffe-

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.