

ted behaviour« und untersuchten ebenfalls zwei Generationen von Mäusen. Obwohl in der Zeitschrift *Human Molecular Genetics* erschienen, simulierte das französische Forscher_innenteam den Effekt von Genomic Imprinting bei Mäusen und erforschte mittels zahlreicher Verhaltenstests die Relevanz eines spezifischen RNA-Genclusters für Entwicklung und Verhalten.

(3) Die Studie »Simulated climate warming and mitochondrial haplogroup modulate testicular small non-coding RNA expression in the neotropical pseudoscorpion, *Cordyllohermes scorpioides*« von Eleanor J. Su-Keene et al. wurde 2018 in *Environmental Epigenetics* publiziert. Um das Spektrum an Perspektiven zu erweitern, sollte die dritte Studie weder Nagetiere untersuchen noch Mütter fokussieren. Su-Keene et al. erforschen die Folgen von Klimaerwärmung in Küstenregionen Panamas für die RNA-Expression in Hoden von Pseudoskorpionen. In US-amerikanischen Forschungslaboren simulierten sie dafür Klimaerwärmung und schlussfolgerten, dass diese bei den Gliederfüßlern zu verringerter Reproduktionsfähigkeit führt.

8.2 Gaeini et al.: Preconception endurance training influences female offspring bone

Die erste Studie, die ich ausgewählt habe, trägt den Titel »Preconception endurance training with voluntary exercise during pregnancy positively influences remodeling markers in female offspring bone«. Sie wurde 2016 im *Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine* veröffentlicht und umfasst sechs Seiten. Die vier Autor_innen Abbas Ali Gaeini, Leila Shafiei Neek, Siroos Choobineh und Sadegh Satarifard sind am Department of Sport Physiology der Universität Teheran (Iran) tätig, die zwei Autor_innen Mohamadreza Baghaban Eslaminejad und Forough Azam Sayahpour am Department of Stem Cells and Developmental Biology, ACECR (Academic Center for Education, Culture and Research; Teheran, Iran) und Seyedeh Neda Mousavi am Department of Cellular and Molecular Nutrition der Medizinischen Universität Teheran. Wie aus dem Titel ersichtlich, wird Ausdauertraining vor und während der Schwangerschaft ein positiver Effekt für den Knochenumbau¹ des weiblichen Nachwuchses² zugeschrieben.

1 Mit Knochenumbau sind die lebenslangen Knochenab- und -aufbauprozesse gemeint, die bei Lebewesen stattfinden und zur Erneuerung der Knochen führen (vgl. Sadava et al. 2019: 1437ff.).

2 Die Forschenden begründen nicht, warum nur weiblicher Nachwuchs untersucht wurde. Vermutlich ist ein Grund dafür, dass Osteoporose vor allem als »weibliche« Krankheit gilt (vgl. Fausto-Sterling 2003).

Eine Besonderheit der Studie stellt der Umwelteinfluss dar. Denn es sind die Muttertiere und ihr Training, die in dieser Studie als Umweltfaktoren untersucht werden, die sich schon während der Trächtigkeit auf den Fötus auswirken. Die »maternal environment« (Gaeini et al. 2016: 3638) – und hier liegt der Fokus auf der Fitness der Mütter – könne epigenetische Mechanismen beeinflussen. Die Umweltbedingungen bilden die unterschiedlichen physischen Konstitutionen der Mäusemütter vor und während der Trächtigkeit. Es ist durchaus zu diskutieren, inwiefern es passend ist, dies als Umweltfaktor zu bezeichnen. Bemerkenswert ist, dass die Mütter als die für das Osteoporoserisiko relevanten Umweltfaktoren gelten und, um dieses zu untersuchen, zu unterschiedlichen Umweltfaktoren werden.

Mit diesem Umwelteinfluss ist auch ein transgenerationeller Effekt verbunden. Zwei Ebenen sind dabei relevant: die mütterliche Fitness, über die auch eine spezifische Verantwortlichkeit suggeriert ist, und das Verhältnis und die Verschränkungen von Müttern, Föten und Plazenten. Besonders eindrücklich zeigen sich in dieser Studie Relationen und unterschiedliche Arten von Verschränkungen. Ich werde im Folgenden zentrale Inhalte vorstellen und so Textstellen, Themen und Zusammenhänge identifizieren, die im anschließenden diffraktiven Lesen vertieft werden.

»Abstract«

In der Studie wurden 24 weibliche Mäuse untersucht, die zufällig in vier Gruppen geteilt wurden, die sich danach unterscheiden, ob und wann sie trainierten. Von Interesse ist das Training vor und während der Trächtigkeit und inwiefern dieses weibliche Embryonen beeinflusst. Die Ergebnisse ihrer Untersuchung fassen die Autor_innen wie folgt zusammen: Die mRNA-Expression bestimmter Proteine, Hormone und Rezeptoren (OPG, Runx2, COLI, ALP und OPN) war im Nachwuchs der Muttertiere, die vor der Trächtigkeit trainiert wurden, signifikant hochreguliert.³ Es werden insgesamt sieben verschiedene Proteine, Hormone und Rezeptoren genannt, deren mRNA-Expression jeweils in Zusammenhang mit Knochenbau steht. Die Forschenden schlussfolgern, dass durch bessere Fitness vor der Trächtigkeit signifikante Unterschiede in der Knochen-Genexpression der Nachkommen entstehen: »Improved physical fitness in preconception period results in significant changes in bone gene expressions of female offspring, in particular towards osteogenic responses with improved RANKL/OPG ratio.« (ebd.: 3634)

3 Die Funktionen der einzelnen Proteine, die in dieser Studie relevant sind, werden nicht weiter erläutert. Es sei lediglich darauf hingewiesen, wofür die Abkürzungen stehen: »receptor activator of NF- κ B ligand (RANKL), osteoprotegrine (OPG), Osteocalcin (OCN), Collagen type I (COLI), Alkaline phosphatase (ALP) and Runt-related gene 2 (Runx2), Osteopontin (OPN)« (Gaeini et al. 2016: 3636).

»Introduction«

In der Einführung geben die Autor_innen zunächst einige Hintergrundinformationen. So wird die Zeit vor und während der Trächtigkeit in der Forschungsliteratur als zentral für das Wohl des Nachwuchses angesehen: »The preconception and prenatal periods now are recognized as a unique physiological window in which maternal and fetal adaptations can have major consequences for the long-term health and well-being of offspring« (ebd.). Die Verbindung von fötal und erwachsen bezeichnen Gaeini et al. im Folgenden als Programmierung. Sie nennen Osteoporose als eine der chronischen Krankheiten, die mit Programmierung zusammenhänge. Im Uterus würden Umwelteinflüsse auf das einwirken, was nach der Geburt (postnatal) ausgeprägt wird und dadurch das Risiko für Osteoporose steigern. Das bezeichnen Gaeini et al. als postnatale Muster (vgl. ebd.) und als Bauplan für das Skelett des Nachwuchses.

Das Ausdauertraining gilt als wichtig für den Knochenumbau. Zentral sei die Entdeckung des OPG/RANK/RANKL-Systems, welches wesentliche Teile des Knochenumbauzyklus erkläre. RANKL wird die Funktion zugeschrieben, die Genese von Osteoklasten⁴ zu aktivieren. Die Funktion von OPG scheint dem gegenüberzustellen, denn es gilt als die Anzahl der Osteoklasten reduzierend. RANKL aktiviert also etwas, das dazu führt, dass Osteoklasten aktiv werden und somit Knochenabbauprozesse. OPG wiederum reduziert die Osteoklasten und somit auch den Knochenabbau.

Im nächsten Abschnitt der Einleitung geht es um schwangere Frauen, also anders als im Abstract nicht um Tiere, sondern um Menschen. Es werden viele Verweise auf andere Studien und Berichte gemacht, um den Forschungsstand zu erläutern. Mit Hinweis auf einen Bericht des »Institute of Medicine« wird zudem betont, dass zahlreiche Studien die möglichen Folgen von Training auf Schwangerschaft aufgezeigt hätten. Am Ende der Einleitung und im Anschluss an die Darstellung zentraler Erkenntnisse aus der Forschungsliteratur wird nun darauf hingewiesen, wo es Forschungslücken gibt und woran die vorliegende Studie anschließt. Deutlich gemacht wird, dass es zwar großes Interesse gibt, aber nur wenig Daten existierten beziehungsweise nur wenig Daten verfügbar seien. Da ein eindeutiger Beweis fehle, nehmen sich die Autor_innen der Forschungslücke an, nämlich der Frage, ob sich Ausdauertraining vor und während der Trächtigkeit auf Knochenbildung und -abbau des weiblichen Nachwuchses auswirke. Ziel der Studie sei es, Belege dafür sowie den effektivsten Marker für Knochenabbau zu finden (vgl. ebd.: 3634, 3635).

4 Osteoklasten, Osteoblasten und Osteocyten sind die drei Zelltypen, die an Knochenumbauprozessen beteiligt sind. Sie werden auch lebende Knochenzellen genannt, da Knochen als lebendes Gewebe gelten. Osteoblasten lagern neues Knochenmaterial an und Osteoblasten resorbieren es (vgl. Sadava et al. 2019: 1456, 1457).

»Material and methods«

Im Methodenkapitel wird zunächst die Zusammensetzung der untersuchten Mäuse beschrieben: 24 sechs Wochen alte Mäuse wurden mit Hilfe einer bestimmten Nahrungszusammensetzung (AIN-93) eingewöhnt. Von Interesse waren die folgenden acht Wochen. Nach vier Wochen waren alle Mäuse trächtig. Unterschieden wurde dann in vier Gruppen: Sechs Mäuse trainierten während und vor der Trächtigkeit (TE), sechs Mäuse nur vor (TC) und sechs nur während der Trächtigkeit (CE), sechs trainierten gar nicht (CC).

Nur die Käfige der CE- und TE-Mäuse waren während der Trächtigkeit mit Laufrädern ausgestattet und diese mit Sensoren, um die Runden zählen zu können, die die Mäuse zurückgelegt haben. Die Laufräder konnten die Mäuse freiwillig benutzen. Die Mäuse wurden während der Trächtigkeit aber nicht in Schwimmbecken oder auf Laufbänder gesetzt. Dies rufe bei Tieren Stress hervor, so die Forschenden: »Some types of exercise, such as swimming and treadmill running, cause a stress response in pregnant animals. In order to control the confounding effects of maternal stress, we applied a voluntary exercise.« (ebd.: 3635) Wie viel eine Maus das Laufrad nutzte, wurde alle 24 Stunden errechnet.

Im Abschnitt »Exercise training protocol« wird ausschließlich darauf eingegangen, wie das Training mit den TE- und TC-Mäusen vor der Trächtigkeit ablief. Beschrieben wird in welchen zeitlichen Abständen Training stattfand: einmal täglich an fünf Tagen pro Woche für eine Dauer von vier Wochen. Zum Training eingesetzt wurde eine Laufbahn. In der ersten Woche wurde zur Gewöhnung weniger trainiert. Anschließend wurde schrittweise mehr trainiert und die Geschwindigkeit auf dem Laufband erhöht. Dauer und Anzahl des Trainings waren genau festgelegt: »After familiarization period for the first week, each session consisted of a 10-min warm-up at 12 m/min followed by 38.5 min at 15 m/min.« (ebd.) 21 Tage nach der Geburt wurde je ein weibliches Junges von einer Maus genommen und nach der achten Lebenswoche getötet. Alle Oberschenkelknochen der Mäusenachkommen wurden anschließend entfernt und so aufbewahrt, dass die RNA für weitere Untersuchungen isoliert und genutzt werden konnte.

Im nächsten Abschnitt »RNA isolation and real-time PCR array« wird erklärt, wie mit den Oberschenkelknochen und der RNA verfahren wurde: Die Knochen wurden erst gepudert und danach zusammen mit QLAzol Lysis Reagent in ein Gefäß gepackt und einem gDNA-Eliminator behandelt. Es wird beschrieben, womit RNA gewonnen und gereinigt wurde, und genau angegeben, mit welchen Hilfsmitteln dieser Prozess geschah (vgl. ebd.: 3635, 3636).

»Results«

Der Abschnitt »Running wheel distance« des Ergebnisteils berichtet über die Unterschiede bezüglich der im Laufrad zurückgelegten Distanz der Mäuse, die vor

und während beziehungsweise nur während der Trächtigkeit trainiert haben. Keine signifikant verschiedene Distanz legten sie in den ersten beiden Trächtigkeitswochen zurück. Ein signifikanter Unterschied wurde jedoch in der dritten Woche vermerkt (vgl. ebd.: 3636).

Die Beschreibung der Ergebnisse bezüglich der »Gene expression« fällt länger aus. Zunächst geht es um das Protein Runx2, das die Osteoklasten beeinflusst. Die Forschenden stellen signifikante Unterschiede bezüglich der Expression von Runx2 zwischen CE, TC und TE gegenüber CC, also niemals trainierten Mäusen, fest. Von Interesse ist jeweils, wie das mRNA-Expressionslevel eines der Proteine ist, das bei den Mäusen, die vor und/oder während der Trächtigkeit trainiert haben, als besonders stark exprimiert gilt. Bei den Mäusen mit mehr körperlicher Betätigung wird die mRNA in Runx2 im Nachwuchs stärker exprimiert als beim Nachwuchs von Müttern, die sich nicht körperlich betätigt haben (vgl. ebd.). Anschließend werden die Werte der mRNA-Expressionslevel der anderen Proteine (COLI, ALP, OPN, OPG) dargestellt, die in etwa denen von Runx2 entsprechen.

Beim mRNA-Expressionslevel des Proteins RANKL, das ebenfalls den Knochenumbau reguliert, zeigt sich etwas Anderes, da es signifikant herabreguliert ist beim Nachwuchs der TE-Gruppe, also derjenigen, die vor und während der Trächtigkeit trainiert haben. Vergleichbare Ergebnisse werden im letzten Abschnitt der Ergebnisse bezüglich des durch Osteoblasten gebildeten Proteins OCN berichtet. Zusätzlich wird hier noch das Verhältnis der Proteine RANKL und OPG erwähnt, was zu Beginn des Textes als relevant für den Knochenumbau und dessen Gleichgewicht beschrieben wurde (vgl. ebd.: 3636, 3637).

»Discussion«

In der Diskussion beschreiben die Forschenden ihr Ergebnis als neu und einzigartig: die Hochregulierung von OPG mRNA-Expression im Knochen des weiblichen Nachwuchses von Müttern, die vor (und während) der Trächtigkeit trainierten. Zudem erwähnen sie einen Unterschied zwischen TE- und TC-Mäusen, bemerken aber auch, dass dieser nicht signifikant war:

»Although there was no significant difference between two groups, we observed that fold change of OPG gene expression in the TC offspring group higher than fold change of this gene in TE offspring group but, this difference was not statistically significant.« (ebd.: 3637)

Einen Grund für die Unterschiede zwischen TE und TC vermuten die Forschenden im Wandel der Umwelt des Nachwuchses. Daran anschließend, beschreiben die Autor_innen es als bemerkenswert, dass es auch einen Unterschied zwischen den Mäusen gebe, die vor der Trächtigkeit nicht trainiert hätten. Die größten Differenzen – und zwar in Bezug auf die OPG-Genexpression – seien aber bei den Mäusen zu beobachten, die auch vor der Trächtigkeit trainierten.

Gaeini et al. formulieren hier ihre Hypothese: Ausdauertraining während und vor allem vor der Trächtigkeit kann möglicherweise positive Effekte auf die Knochenbaumarker im Nachwuchs haben (vgl. ebd.: 3637, 3638). Die Forschenden beziehen danach noch einmal ihre Ergebnisse auf andere Forschungen und halten fest, dass auch dort Beweise noch fehlten, Hinweise aber nahelegen würden, dass Ausdauertraining vor und während der Trächtigkeit verschiedene Knochenprozesse beeinflusse.

Nachdem von Einflussfaktoren die Rede war, geht es anschließend darum, wie Veränderungen der Mutter auf den Embryo übertragen werden. Es wird davon ausgegangen, dass sich die Stimulationen der Mutter auf den Embryo und den Fötus übertragen. Vorangestellt wird, dass Embryo oder Fötus abhängig von Informationen sind, die Mutter und Plazenta vermitteln: »Since the embryo or fetus is entirely dependent on information transmitted from the mother and placenta, hormonal and metabolic changes induced by maternal exercise were transmitted from mother to embryo and fetus.« (ebd.: 3638) Anschließend werden epigenetische Mechanismen erwähnt, die als beeinflussbar durch die mütterliche Umwelt gelten.

Gaeini et al. formulieren, dass sich die positiven Effekte des mütterlichen Trainings auf der RANKL-mRNA beim Nachwuchs beobachten ließen. Ausdauertraining vor und Übungen während der Trächtigkeit werden als Ursache für die RANKL-Expression beschrieben: »This difference suggests that the regular exercise training and voluntary exercise performed by dams in preconception period and during pregnancy resulted in a fundamental alternation in bone biology of their pups.« (ebd.) Zugleich betonen Gaeini et al. die fundamentalen Veränderungen in der Knochenbiologie und den bedeutenden und weitreichenden Einfluss.

Im Anschluss formulieren die Forschenden die Vermutung, dass die Unterschiede der CE- und TE-Mäuse beim Training dadurch entstanden, dass die TE-Mäuse auch schon vorher trainiert wurden. Da TC- und CE-Mäuse, also die Gruppen, die nur in je einer Phase (vor oder während der Trächtigkeit) trainierten, ähnliche Werte bezüglich der RANKL-Genexpression aufzeigten, gehen die Forschenden davon aus, dass beides einen Effekt auf die Herabregulierung von RANKL mRNA-Expression habe. Den Effekt bezeichnen sie hier als synergetisch, also als zusammen- oder mitwirkend mit anderen. Welche weiteren Effekte es gibt, wird jedoch nicht angesprochen (vgl. ebd.).

Es werden erneut signifikante Unterschiede benannt: Durch Effekte vor der Trächtigkeit – und erstmalig ist hier auch frühes Leben genannt – treten signifikante Unterschiede in Bezug auf das RANKL/OPG-Verhältnis auf. Zudem wird besonders das Ausdauertraining vor der Trächtigkeit als einflussreich beschrieben, auch für den mütterlichen Stoffwechsel und die osteogene Entwicklung beim Fötus. OCN-mRNA im Nachwuchs der trainierten Gruppen wird als herabreguliert beschrieben. Von einem anderen Ergebnis berichten die Autor_innen mit Verweis

auf eine aktuelle Studie, welche männliche Nachkommen von trainierten und untrainierten Muttertieren verglich und keinen Unterschied diesbezüglich fand, aber bezüglich der »serum undercarboxylated osteocalcin«-Konzentration (vgl. ebd.: 3639).

Gaeini et al. selbst haben nicht die Konzentration des Osteocalcin-Serums gemessen, was sie als Schwäche ihrer Studie beschreiben. Sie gehen aber trotzdem davon aus, dass die Zunahme an RANKL-Aktivität mit dem Zuwachs von Osteocalcin-Serum zusammenhängt. Sie merken auch an, dass die genaue Funktion von Osteocalcin (OCN) noch unklar ist in der Forschung beziehungsweise diese noch bestimmt werden muss. Als gesichertes Wissen beschreiben die Forschenden hingegen, dass OCN am Knochenumbau beteiligt ist (vgl. ebd.). Im letzten Absatz fassen die Autor_innen ihre Ergebnisse zusammen und weisen auf weitere notwendige Untersuchungen hin: »Our results suggest that a regular exercise program in preconception period and improved physical fitness result significant changes in bone formation gene expressions that modulate early-life events to potentiate protection from the risk of bone disorders in female offspring adult life.« (ebd.) Die Forschenden schließen ihren Text mit dem Hinweis, dass durch mehr Forschung weitere Erkenntnisse und Einblicke möglich sind, und führen aus, welcher Untersuchungen es noch bedarf. Dass es Effekte des Trainings vor und während der Trächtigkeit auf die Knochengesundheit gibt, betonen sie erneut, doch seien noch nicht alle entdeckt.

Auf den nächsten Seiten werde ich die Studie von Gaeini et al. (2016) nun diffraktiv mit Barad und anderen Autor_innen durch einander hindurch lesen. Dafür folge ich den im 7. Kapitel erarbeiteten vier Anknüpfungspunkten.

8.2.1 Un/Bestimmtheiten

Die Vorstellung, dass etwas mit ausreichend Erforschung und der richtigen Methode aufzudecken und zu erklären sei, ist in vielen wissenschaftlichen Disziplinen weit verbreitet. Dies spiegelt sich auch bei Gaeini et al. (2016) wider, doch wird ebenso evident, was Barad als onto-epistemologische Un/Bestimmtheit bezeichnet. Lese ich Barads Un/Bestimmtheiten mit den Stellen der Studie durch einander hindurch, an denen Unsicherheiten und Wissenslücken sowie fachliche Kontroversen erwähnt werde, so artikulieren sich andere Sichtweisen jenseits der positivistischen Vorstellung eines Erkenntnisfortschritts. Neue Perspektiven eröffnen zudem verschiedenartige »responses«, die in der Studie relevant gemacht werden.

Wissenslücken und Unsicherheiten

Gaeini et al. nutzen mehrfach Formulierungen wie »we observed« und »[t]hese data suggest« (Gaeini et al. 2016: 3638). Das erweckt den Anschein, dass Forschungssubjekte und -objekte getrennt und unabhängig voneinander sind. Ausdrücke wie »re-

sults of present study showed that« (ebd.: 3637) oder »the experiments have shown that« (ebd.: 3638) postulieren, dass Forschende durch die richtige Untersuchungsmethode und Entdeckung – »discovery« (ebd.: 3634) – Antworten und Beweise finden könnten.

Außerdem gibt es mehrere Passagen, in denen auf fehlende Daten und Beweise verwiesen wird. Die Hypothesen von Gaeini et al. sind scheinbar nicht einfach zu belegen – im Gegenteil, die Forschenden sehen sich noch unzähligen offenen Fragen und Rätseln gegenüber. So formulieren sie zum Beispiel, dass es weitere Untersuchungen braucht, um »more insight into the specific factors underlying the effects of regular preconception exercise training and exercise during pregnancy on adult offspring bone health« (ebd.: 3639) zu erhalten. Sowohl in ihrer Einleitung als auch in der Diskussion erwähnen sie, dass es teilweise an Beweisen fehle: »very little data are currently available on the effects of maternal exercise on offspring bone health and the evidence for a consistent and meaningful impact of regular preconception exercise on offspring health is lacking.« (ebd.: 3635; vgl. auch 3638) Die aktuell noch vorhandenen Unsicherheiten glauben Gaeini et al. in Zukunft klären zu können.

Die Autor_innen räumen Begrenztheiten ihrer Studie ein: »One of the limitations of our study includes that we did not measure the serum osteocalcin concentrations.« (ebd.: 3639) Sie bemerken zudem, die genaue Funktion von OCN »has yet to be determined« (ebd.), geben aber den Hinweis, dass aktuelle Studien diesbezüglich eine Vermutung hätten. Trotz der Wissenslücken weisen sie auf den wichtigen Beitrag ihrer Studie hin. Gaeini et al. bezeichnen ihre Ergebnisse als die ersten, die den Effekt von Ausdauertraining vor der Trächtigkeit darstellen (vgl. ebd.: 3637), und betonen, manche Dinge exakter gezeigt zu haben (vgl. ebd.: 3638).

Ihre mehrfachen Erwähnungen von Wissenslücken sowie die Bezeichnungen ihrer Ergebnisse als neu und exakt könnten als Diskrepanz aufgefasst werden. Die Forschenden selbst formulieren dies nicht als Widersprüchlichkeit. Meines Erachtens öffnet die Studie im gleichzeitigen Verweisen auf Unwissen und Erkenntnisfortschritt aber eine besondere Perspektive. Im Umgang der Forschenden mit den Wissenslücken offenbart sich eine Pendelbewegung. Das verdeutlichen die vorangegangenen Zitate, deren Aussagen sich so zusammenfassen lassen: Es fehlen Beweise, die Ergebnisse sind die ersten dieser Art, vieles muss noch bestimmt werden, die Resultate sind exakter als andere, die Studie ist begrenzt und hat nicht alles gemessen. Dieses Pendeln zwischen Wissenslücken und der Relevanz der Studie lese ich mit dem Wechselspiel durch einander hindurch, das Barad wie folgt beschreibt: »the intra-play of continuity and discontinuity, determinacy and indeterminacy, possibility and impossibility that constitutes the differential spacetime-matterings of the world.« (Barad 2007: 182) So drücken die zitierten Stellen der Studie von Gaeini et al. eben jenes Wechselspiel aus und eröffnen den Blick auf onto-epistemologische Un/Bestimmtheiten: Es wird bestimmt und es bleibt

unbestimmt. Ergebnisse zeigen etwas Neues und Vieles ist ungeklärt. Die Studie resoniert hier mit Barads Aussage, dass Unbestimmtheiten in Experimenten immer nur lokal gelöst werden und ein finales und universales Bestimmen von Eigenschaften und Zusammenhängen nicht möglich ist. Durch die formulierten Wissenslücken, wie zum Beispiel die noch nicht bestimmte Funktion von OCN (vgl. Gaeini et al. 2016: 3639), kann somit deutlich werden, dass die Untersuchungsobjekte keine fixen Entitäten mit festen Eigenschaften und Grenzen sind, die sich die Forschenden mit den richtigen Mitteln verfügbar machen können. Das kann als Hinweis dafür gedeutet werden, dass die Bestimmbarkeit von außen begrenzt ist und es kein Außerhalb des Phänomens gibt.

Agencies & ›responsabilities‹

In den erwähnten Wissenslücken artikulieren sich onto-epistemologische Un-/ Bestimmtheiten. Die in der Studie formulierten Unsicherheiten weisen darauf hin, dass Forschungsobjekte nicht einfach für die Forschenden verfügbar sind. Damit wird auch die Trennung von Forschungsobjekten und davon unabhängigen Forschungssubjekten in Frage gestellt. Die Infragestellung einer inhärenten Subjekt/Objekt-Trennung eröffnet ein anderes Verständnis von Agency. Gemäß des agentiellen Realismus befinden sich die Forschenden nicht in einer Position außerhalb des Phänomens, von der aus sie messen und bestimmen können. Sie sind wie viele/s andere auch Teil des Phänomens. Im agentiellen Realismus geht es darum, auch für andere_s aufmerksam zu sein. Das beinhaltet auch eine ethische Ebene. Welche Agencies und ›abilities to respond‹ lassen sich in der Studie von Gaeini et al. entdecken? Um dies zu beantworten, werde ich drei Aspekte untersuchen: Meine Suche nach anderen als menschlichen Agencies beginne ich damit, zu diskutieren, wie in der Studie Verantwortung explizit angesprochen wird. Danach analysiere ich die Verwendung des Begriffs ›response‹ und schließlich, ob der Begriff ›adaptability‹ auch als ›ability to adapt‹ gelesen werden kann.

Verantwortung (der Mütter)

Wie ich im 3. Kapitel angeführt habe, werden aus epigenetischen Untersuchungen, die transgenerationale Effekte darstellen, oftmals spezifische Verantwortlichkeiten abgeleitet. Diese beziehen sich häufig nicht nur auf die eigene Lebensweise und Gesundheit, sondern auch auf die der nächsten Generationen. Vor allem die Verantwortung der Mütter wird dabei immer wieder betont. Besonders explizit wird auf ein verantwortliches Handeln von Frauen in der Einleitung der Studie von Gaeini et al. hingewiesen, in der die Autor_innen berichten, dass es in der Forschung einen starken Fokus auf die Folgen des Status von Müttern vor der Schwangerschaft gäbe. Obwohl es in ihrer Untersuchung um Mäuse geht, ist hier nun ausschließ-

lich von Menschen die Rede.⁵ Verwiesen wird auf einen Bericht eines Institute of Medicine, in dem dazu geraten wird, schwangere Frauen nicht nur zu informieren, sondern auch zu motivieren, vor und während der Schwangerschaft einen gesunden Lebensstil zu verfolgen (vgl. ebd.: 3634). Regelmäßiges Training würde nicht nur auf die körperlichen Veränderungen einer Schwangerschaft vorbereiten, sondern auch den »(maternal and fetal) pregnancy outcome« (ebd.: 3634, 3635) beeinflussen. In der gesamten Studie wird das Verhalten der Muttertiere fokussiert und es geht stets darum, welche Effekte dieses auf die Knochen(-gesundheit) der Nachkomminnen hat. Dabei wird mittransportiert, dass das mütterliche Verhalten als ursächlich für die Knochengesundheit der Töchter gilt und diesem somit eine besondere Bedeutung beizumessen ist. Was hier also adressiert wird, ist ein verantwortungsvolles Verhalten von Schwangeren. Dies erhöht den Druck auf Einzelne, sich richtig zu verhalten, und schreibt ein stereotypes Geschlechterbild weiter, nach dem den Müttern ohnehin eine zentrale Rolle für das Wohlergehen des Nachwuchses zukommt.

Das Appellieren an das verantwortliche Handeln menschlicher Mütter in der Studie bedeutet auch, dass Mütter als Agency wahrnehmbar werden. Mit dem Appell verbunden ist die Überzeugung, dass Mütter bewusst bestimmte Handlungen ausführen und sich für sportliches Verhalten entscheiden können. Ähnliches scheint auch in Bezug auf die untersuchten Mäuse der Fall, denn das Training während der Trächtigkeit wird als »voluntary exercise« (ebd.: 3635) bezeichnet. So werden die Mäuse als Agency sichtbar. Die Käfige der Mäusegruppen, bei denen (auch) der Effekt von Ausdauertraining während der Trächtigkeit untersucht wurde (TE- und CE-Mäuse), waren mit Laufrädern ausgestattet und diese mit Sensoren versehen, die die Runden im Laufrad zählten. Es sind die Forscher_innen, die das freiwillige Training ermöglichen, die Käfige ausstatten und die Mäuse als Versuchstiere nutzen. Doch ohne das freiwillige Trainieren der Mäuse könnten sie ihre Messungen nicht durchführen, genauso wenig ohne das Laufrad und den daran installierten Sensor, der die zurückgelegten Runden zählt. Da die Forschenden nicht nur mit formalisiertem Ausdauertraining, sondern auch mit freiwilligem Training arbeiten, verlassen sie sich auf die Aktivität der Mäuse:

»Dams access to wheels throughout pregnancy until delivery. Some types of exercise, such as swimming and treadmill running, cause a stress response in pregnant animals. In order to control the confounding effects of maternal stress, we applied a voluntary exercise.« (ebd.)

Gaeini et al. beschreiben, dass sie von spezifischen Übungen abgesehen haben, um keinen Stress bei den trächtigen Versuchstieren auszulösen, und stattdessen

5 Was es bedeutet, dass mal von Menschen und mal von Mäusen gesprochen wird, thematisiere ich in 8.2.4.

auf freiwilliges Training fokussieren. Auch hier wird die Agency der Mäusemütter sichtbar, die den Effekt des Trainings vor der Geburt aufrechterhalten können: »The differential effects that we observed in CE dams compared with TE dams may be caused by the ability of preconception trained dams to maintain a more exercise regimen during pregnancy.« (ebd.: 3638) Gaeini et al. schreiben den Labormäusen, die für gewöhnlich als Forschungsobjekte gelten, spezifische Fähigkeiten zu. Daraus ist zum einen die spezifische mütterliche Verantwortlichkeit gegenüber den Nachfahr_innen abzuleiten, aber auch, dass Agency nicht bloß etwas ist, was Menschen haben, sondern Agencies ebenso nicht-menschliche Phänomene sind. Die Mäuse sind die ersten nicht-menschlichen Agencies, die sich bei Gaeini et al. (2016) artikulieren.

»stress response«

Auskunft über weitere Agencies kann der Ausdruck »response« geben. Das Antworten scheint bei Gaeini et al. (2016) als körperliche Reaktion und somit als automatisches, impulshaftes Verhalten verstanden zu werden. Im Zusammenhang mit Stress wird »response« erwähnt und beschrieben, dass die Mäuse mit Stress antworten. Stress bei den trächtigen Mäusen scheint etwas zu sein, das mit Sicherheit durch Schwimmen und Rennen auftritt und das kontrolliert werden kann. Das wird in einem festen Ursache-Wirkungs-Verhältnis beschrieben, denn bestimmtes Training führe zu Stress: »cause a stress response« (Gaeini et al. 2016: 3635). Dass dieser zudem leicht zu kontrollieren ist, schreiben Gaeini et al. im nächsten Satz. Sie erwecken so den Eindruck, sich die »stress response« verfügbar machen beziehungsweise durch freiwilliges Training verhindern zu können.

Stress als Fähigkeit der Maus, zu antworten, eröffnet ein anderes Bild, durch das Mäuse als Agency begreifbar sind. Wird die Stress-Antwort so verstanden, wird in Frage gestellt, ob immer und bei jeder Maus die gleichen Reaktionen hervorgerufen werden oder ob sie durch den Einsatz eines anderen Trainings verhindert werden können. Denn Agency ist nicht etwas, was Subjekte oder Objekte haben. Agency versteht Barad vielmehr im Werden der Intra-aktivität: »Agency is about changing possibilities of change entailed in reconfiguring material-discursive apparatuses of bodily production, including the boundary articulations and exclusions that are marked by those practices in the enactment of a causal structure.« (Barad 2007: 178) Dadurch, dass dem mütterlichen Stress ein störender Einfluss (»confounding effects«) zugeschrieben wird, messen Gaeini et al. ihm eine hohe Relevanz bei. Hierin artikuliert sich Stress als Agency. Die Fähigkeit des Stresses zu antworten, ist eine, die die Untersuchung stört. Wird der Stress als Agency aufgefasst, die antworten kann, ist auch nicht mehr davon auszugehen, dass er gemäß einer spezifischen kausalen Relation immer die gleichen Auswirkungen hat. Die Fähigkeit zu antworten weist vielmehr darauf hin, dass in jeder Forschung wieder

ein bestimmter Apparat entsteht, der sich unterscheidet und andere Mäuse und Stressreaktionen, Grenzen und Kausalstrukturen hervorbringt. Nach Barad wird Unbestimmtheit immer wieder lokal gelöst. Mäuse und Stress präsentieren sich demnach weder als feste Entitäten noch als passive Forschungsobjekte. Beide treten als Agencies in Erscheinung.

»osteogenic response«

Gaeini et al. nutzen noch ein zweites Mal die Bezeichnung »response«. Im Abstract fassen sie ihre Ergebnisse folgendermaßen zusammen: »Improved physical fitness in preconception period results in significant changes in bone gene expression of female offspring, in particular towards osteogenic responses with improved RANKL/OPG ratio.« (Gaeini et al. 2016: 3634) Hier wird beschrieben, dass sich die auf Knochen bezogene Genexpression im weiblichen Nachwuchs durch physische Fitness der Mutter vor der Trächtigkeit signifikant verändert, vor allem bezüglich knochenbezogener Antworten mit verbessertem RANKL/OPG-Verhältnis, welches beim Knochenumbau involviert ist. Durch physische Fitness scheint der Knochenaufbau verbessert. Verglichen wird in der Studie mit weniger fitten Mäusemüttern. Demnach antworten also die Knochen oder an Knochenumbauprozessen beteiligte Proteine und Hormone. Sie antworten auf die physische Fitness der Mutter vor der Trächtigkeit und zwar mit einem verbessertem RANKL/OPG-Verhältnis.

Je nach Fitness der Mutter vor der Trächtigkeit haben die Knochen des Nachwuchses bessere Bedingungen bei Knochenumbauprozessen. Die Formulierung »osteogenic response« kann nicht nur als einfaches Ursache-Wirkungsprinzip verstanden werden. Denn hier artikuliert sich die Fähigkeit der Knochen des weiblichen Nachwuchses beziehungsweise der am Knochenumbauprozess Beteiligten, auf die Umweltbedingungen vor ihrer Existenz zu antworten. Damit wird nicht nur die zentrale Rolle der Knochen ersichtlich, sondern auch Knochen als Agency erkennbar.

Um zu ergründen, was sich in der »osteogenic response« artikuliert und ob es als Fähigkeit der Knochen zu antworten, aufzufassen ist, betrachte ich die anderen Stellen, an denen dieser Begriff erwähnt wird. Am Ende der Studie wird »osteogenic« nochmals genannt: »factors released into the circulation by exercise during pregnancy could impart robust osteogenic programming effects to the developing fetus.« (Gaeini et al. 2016: 3639) Etwas später weisen die Autor_innen zudem darauf hin, dass in zukünftigen Studien unter anderem auch

»the effects of exercise during pregnancy in physically fit dams on long-term changes of mRNA, protein expression, and biomarkers of osteogenic and osteoclasogenic factors in serum and urine, as well as epigenetic changes such as DNA methylation in offspring bone at different ages« (ebd.: 3639)

zu untersuchen sind. Von osteogen – Knochen bildend – wird im letzten Zitat osteoklastogen unterschieden, was sich auf Faktoren bezieht, die vor allem zur Resorption von Knochengewebe führen und dazu, dass Knochensubstanz abgebaut wird. Es werden also verschiedene den Knochenumbau betreffende Faktoren unterschieden. Die »long-time changes [...] of osteogenic and osteoclastogenic factors in serum and urine« könnten mehr über den Effekt des Trainings der Mutter vor und während der Trächtigkeit auf die Knochen des Nachwuchses aussagen. Dazu bräuchte es aber weitere Untersuchungen, so die Forscher_innen. Gaeini et al. interessieren sich in ihrer Studie für die knochenbezogenen Faktoren, die dem Effekt mütterlicher Fitness auf Knochen des Nachwuchses zugrunde liegen. Die Knochen antworten auf Umweltbedingungen vor ihrer Existenz und prägen sich in Abhängigkeit zu diesen aus. Die Fähigkeit der Knochen des Nachwuchses, auf etwas vor ihnen Liegendes antworten zu können, ermöglicht so, sich von feststehenden zeitlichen Einteilungen und inhärenten Differenzen zu lösen. Das korrespondiert mit Barads Anmerkungen zum Fötus, wenn sie schreibt: »the fetus is a complex material-discursive phenomenon that includes the pregnant woman in particular, in intra-action with other apparatuses.« (Barad 2007: 218) So wird eine andere Perspektive auf die Frage nach Ursache und Wirkung oder der Interaktion von Genen und Umwelt möglich, nämlich eine, die keine finale, lineare Erklärung liefert, sondern kausale Zusammenhänge als Intra-aktionen denkbar macht.

Welche »osteogenic programing effects« (Gaeini et al. 2016: 3639) ausgelöst werden, wird in der Studie von Gaeini et al. nicht weiter ausgeführt. Vermutlich beziehen sie sich auf das RANKL/OPG-Verhältnis. Charakterisiert werden sie hier als »robust«. Das kann bedeuten, dass es sich um stabile und dauerhafte Effekte handelt oder um solche, die mit hoher Sicherheit durch das mütterliche Training beim Nachwuchs eintreten. Die Autor_innen erwähnen »programming« auch schon am Anfang der Studie: »The linkage between the two states (fetal and adult) was termed »programming«, and osteoporosis is one of the various well-documented programming chronic diseases.« (ebd.: 3634, H.i.O.) Und wenig später: »Exercise training may be considered as one of the more prominent non-pharmacological tools that can be used to attenuate programming.« (ebd.)

Gaeini et al. beziehen sich an dieser Stelle auf einen Text von Peter Gluckman et al., in dem »programming« folgendermaßen definiert wird:

»The linkage between the two states (fetal and adult) was termed »programming«, a term first used to explain the long-term consequences of different forms of infant feeding, but was actually used in the 1960s to describe the genetic basis of development by analogy with computer systems.« (Gluckman et al. 2005: 51, H.i.O.)

Bei Gaeini et al. wird Programmierung auf die Anpassungen zwischen Mutter und Fötus sowie zwischen zeitlichen Ebenen (vor und nach der Geburt) bezogen und vor allem im Zusammenhang mit Erkrankungen erwähnt. Gaeini et al. argumen-

tieren, dass Zielrichtung und Wirkung des Programmierens immer schon klar und bekannt seien: Durch Programmierung könne Osteoporose wie auch andere chronische Krankheiten ausgelöst, Programmierung könne aber unter anderem durch Ausdauertraining gemildert werden. Ein eindeutiger Zusammenhang klingt auch an, wenn die Autor_innen »well-documented programming disease« (Gaeini et al. 2016: 3634) schreiben, als gäbe es einen immer gleichen Programmierungsvorgang, der zu Osteoporose führt. Genau darauf zielt auch häufig Kritik am Begriff ab, wie Gluckman et al. in einem anderen Text schreiben, den Gaeini et al. nicht zitieren: »We have avoided using it, as we and others see conceptual limitations in its use. It implies a hardwired process, whereas the effects observed are clearly much more flexible.« (Gluckman et al. 2007a: 12) Auch in der Studie von Gaeini et al. wird eine zu enge Vorstellung von Programmierung brüchig, wenn die Fähigkeit von Knochen zu antworten, anerkannt wird. Darin artikuliert sich ihre Agency und es werden dynamischere Zusammenhänge und Intra-aktionen sichtbar.⁶

»adaptability«

Vielen Wissenschaftler_innen in der Epigenetik geht es darum, dass sich durch Umwelteinflüsse bedingte Veränderungen positiv oder negativ auf die Entwicklung der Nachkomm_innen auswirken können, je nachdem, wie gut sie sich bereits im frühen Entwicklungsstadium daran anpassen können. Darauf beziehen sich auch Gaeini et al. im ersten Satz: »The preconception and prenatal periods now are recognized as a unique physiological window in which maternal and fetal adaptations can have major consequences for the long-term health and well-being of offspring.« (Gaeini et al. 2016: 3634) Und einige Sätze später differenzieren sie:

»It is essential to distinguish between those environmental effects acting during fetal developmental that are disruptive from those that have adaptive value. Exercise training may be considered as one of the more prominent non-pharmacological tools that can be used to attenuate programming.« (ebd.)

Beide Begriffe erscheinen mit einer deutlichen Bewertung: »adaptive« als Gegensatz zu disruptiven Umwelteinflüssen und »programming« als etwas, das es zu mildern gilt.

Mich interessiert hier vor allem, ob die Ähnlichkeit des Wortes »adaptability« zu »responsibility« als Ansatzpunkt dafür dienen kann, weitere Agencies zu erkennen. Der Begriff wird im Diskussionsteil der Studie gebraucht: »Epigenetic mechanisms can be affected by maternal environment from immediately after conception; therefore, it seems that adaptability with regular exercise training in preconception

6 Diese Ausführungen leiten weiter zu Relationen und Verschränkungen, die sich hier bereits andeuten und eine Besonderheit der Studie ausmachen. Beides diskutiere ich im weiteren Verlauf der Textanalyse.

period and physical fitness level have an important role in this context.« (ebd.: 3638) Und passend dazu schreiben sie etwas später: »exercise training has time-specific effects on fetal and placental growth and fetoplacental adaptations are dependent on the period of gestation in which exercise training is initiated and maintained.« (ebd.) Es stellt sich die Frage, wessen Fähigkeit sich anzupassen, sich hier artikuliert.

Vom letzten Zitat und den oben genannten aus der Einleitung der Studie her zu urteilen, meinen die Autor_innen damit die Anpassungen von Mutter, Plazenta und Fötus, was in dieser Gegenseitigkeit als Zurechtfinden und Ankommen in der neuen Situation des Trächtigseins und als Sich-aufeinander einstellen oder in Einklang bringen verstanden werden könnte: ein neuer Zustand für die Mutter, das Entstehen der Plazenta und des Fötus und alle drei müssen sich einander anpassen. Es ist nicht allein das Verhalten (Training) der Mutter, sondern auch die Fähigkeit von Plazenta und Fötus – »fetoplacental adaptations« (ebd.) – sich anzupassen und anzugleichen. Somit können nicht nur Mäusemütter, sondern auch Plazenta und Fötus als Agencies deutlich werden. Das Anpassen wird nicht bloß von Mutter, Plazenta und Fötus vollzogen und nicht sie alleine haben die Fähigkeit dazu. Vielmehr sind auch die epigenetischen Mechanismen – in dieser Studie wurden nur die RNA Expressionen bestimmter Proteine und Hormone untersucht – am Prozess des Anpassens beteiligt.

Genau wie bei »osteogenic response« geht es auch bei »adaptability« beziehungsweise »adaptions« darum, dass die Föten auf das Training der Mutter vor der Schwangerschaft reagieren. Dies als Antworten zu begreifen, illustriert größere Offenheit und ein Mitgestalten. Anpassen dagegen ruft eher Assoziationen des Übernehmens vorgegebener Muster hervor. Jedoch wird das Antworten ausschließlich in Bezug auf ganz Spezifisches erwähnt: »stress response« und »osteogenic response«. »Adaptability« hingegen ist unspezifisch verwendet, an einer Stelle keiner bestimmten Entität zugeschrieben und an einer weiteren Stelle als »fetoplacental adaptations« sehr weit gefasst. Es sind demnach nicht nur die Knochen, die auf die Fitness der Mutter antworten, sondern allgemein Fötus und Plazenta in ihrer Verbindung.

Die Vorstellung der Anpassung(-sfähigkeit) an die Umwelt findet sich bereits bei Waddington, der von Antworten spricht: »developmental response to an environmental stimulus« und etwas später »optimum response« (Waddington 1942: 565). Die Idee scheint die gleiche zu sein wie bei Gaeini et al. (2016), nämlich, dass ein Entwicklungsstadium ins Verhältnis gesetzt wird zur Umwelt und dass das zu Entwickelnde – im besten Fall optimal – unterschiedlich darauf antworten kann. Epigenetik öffnet sich nicht nur für die Vorstellung, dass die Entwicklung eines Lebewesens und die sie umgebenden Umweltbedingungen in Austausch miteinander stehen, sondern sie ermöglicht durch die Begrifflichkeiten »adapt« und »response« eine noch weitergehende Lesart. In einem Fachartikel schreibt Gilbert über Epi-

genetik: »The ability of organisms to respond to environmental cues by producing different phenotypes may be critically important in evolution, and it may be an essential feature that can facilitate or limit evolution.« (Gilbert 2012: 20) Durch die Benennung als Fähigkeit zu antworten oder sich anzupassen, wurden zahlreiche nicht-menschliche Agencies evident.

Ich habe auf den letzten Seiten herausgearbeitet, wo sich in der Studie von Gaeini et al. – beispielsweise an ihren formulierten Wissenslücken und fachlichen Kontroversen – Un/Bestimmtheiten zeigen. Indem ich verschiedenen ›abilities to respond‹ gefolgt bin, wurden Agencies sichtbar: Mäuse, Föten, Plazenten, Knochen, RNA-Expressionen. Dabei blieben andere unbemerkt, für die ich nicht aufmerksam war. Ich habe mich vor allem an den Nennungen der Autor_innen von Begriffen wie ›response‹, ›adaptations‹ oder ›programming‹ orientiert und bin anschließend diesen Passagen in der Studie gefolgt.

8.2.2 Phänomene

Im Zentrum der Studie stehen die vier Gruppen von Mäusen und deren weiblicher Nachwuchs beziehungsweise deren Knochen. Barad schreibt in Anlehnung an Bohr, dass Bezugspunkte für objektive Beschreibungen von Phänomenen die Spuren sind, die von Versuchsbedingungen auf Körpern hinterlassen werden (vgl. Barad 2015a: 45). Ich werde den Versuchsbedingungen nachgehen, die bei Gaeini et al. beschrieben sind. Wenn ich versuche, den Schnitten auf die Spur zu kommen, die erlassen werden, arbeite ich außerdem heraus, welche Apparate beteiligt sind. Denn Phänomene sind für Barad durch die ontologische Untrennbarkeit von Objekten und Apparaten gekennzeichnet.

Mäuse

Die Versuchs- und Laborbedingungen bei Gaeini et al. werden vor allem im Teil »Material and methods« angesprochen. Hier ist unter anderem beschrieben, dass 24 Mäuse zwei Wochen lang mit einer bestimmten Nahrung »AIN-93 M« akklimatisiert und an die Laborbedingungen gewöhnt wurden (vgl. Gaeini et al. 2016: 3635). Danach wurden die acht Wochen alten Mäuse zufällig für vier Wochen vor und während der ganzen Trächtigkeit in vier Gruppen geteilt. Diese Einteilungen lese ich als agentielle Schnitte, die durch unterschiedliche Behandlungen und verschiedene Ausstattungen der Käfige immer wieder erlassen und durch die verschiedenen Effekte auf die Knochengesundheit des Nachwuchses aufrechterhalten werden. Jene Schnitte führen zu den vier Phänomenen: Mäuse, die vor und während der Trächtigkeit trainierten (TE), die vor der Trächtigkeit trainierten (TC), die während der Trächtigkeit trainierten (CE) und die nicht trainierten (CC). Hier werden Schnitte erlassen zwischen den 24 Mäusen, aber auch zwischen trainiert/untrainiert und vor/während der Trächtigkeit. Durch diese Schnitte werden die 24 Ver-

suchstiere zu TE-, TC-, CE- und CC-Mäusen und zwar nicht bloß einfach durch die Benennungen und Einteilungen der Forschenden, sondern auch durch verschiedene Ausstattungen und Apparate. Weiter wird ausgeführt, dass die Mäuse zu zweit untergebracht waren in einer temperaturkontrollierten Anlage, in der zwölf Stunden lang Licht und zwölf Stunden lang Dunkelheit herrschte. Um die Tiere zu befruchten, wurden sie getrennt und gemeinsam mit einer männlichen Maus über Nacht im Käfig gehalten. Nach der Befruchtung wurden die CE- und TE-Mäuse alleine in Käfigen untergebracht, die mit Laufrädern ausgestattet waren, an denen sich ein Sensor befand, um die zurückgelegten Runden im Rad alle 24 Stunden zu errechnen. Diese Mäuse hatten bis zur Niederkunft Zugang zu den Laufrädern. Das Phänomen ›CE-Maus/während der Trächtigkeit Trainierte‹ sowie ›TE-Maus/vor und während der Trächtigkeit Trainierte‹ wird unter anderem durch das Laufrad sowie den Zählsensor konstituiert. So werden durch Laufrad und Sensor aus Mäusen die TE- und CE-Mäuse, die sich von den TC- und CC-Mäusen abgrenzen, und die die Eigenschaften trainiert und fit haben. Forschungsobjekt (Maus) und Apparat (Laufrad und Sensor) sind nach Barad ontologisch untrennbar und auch bei Gaeini et al. (2016) wird deutlich, dass CE- und TE-Mäuse in der Verbindung von Versuchstieren mit Laufrädern und den daran befestigten Sensoren zu eben jenen Phänomenen werden.

Im Unterkapitel des Methodenteils der Studie »Exercise training protocol« werden weitere Agencies und Apparaturen erkennbar, die zur Konstituierung der TE-, TC-, CE- und CC-Mäuse beitragen. Zunächst wird beschrieben, was mit den vor der Trächtigkeit Trainierten unternommen wurde: »Trained mice (TE and TC) were exercised for 4 weeks, 5d per week, one session per day« (ebd.) und das Training wurde schrittweise erhöht. So bestand nach der Eingewöhnungsphase in der ersten Woche jedes Training aus einer zehnminütigen Aufwärmphase, in der die Mäuse zwölf Meter pro Minute auf dem flachen Laufband liefen, gefolgt von einem 38,5 Minuten dauernden Teil, in dem sie fünfzehn Meter pro Minute zurücklegten. In Abhängigkeit vom gemessenen Laktatlevel nach dem Laufen – also Salzen der Milchsäure im Blut – wurde die Geschwindigkeit auf dem Laufband in den anschließenden drei Wochen schrittweise erhöht.

In diesen Ausführungen werden zahlreiche zeitliche Schnitte sichtbar, wenn zum Beispiel die Eingewöhnungsphase von den restlichen drei Wochen Training unterschieden und eine Aufwärmphase vor jedem Training durchgeführt wird. Ob das Training durch eine erhöhte Laufbandgeschwindigkeit zu erschweren ist, entscheiden die Forschenden zudem am gemessenen Laktatlevel im Blut. Gaeini et al. nutzen zeitliche Einteilungen und Laktatlevel als Messgrößen. Auch sie können als Teil der Apparate verstanden werden, die trainierte Mäuse als Phänomene mit hervorbringen. Schrader greift Barads Vorstellung auf, dass Verschränkungen und das agentielle Zusammenschneiden neue Phänomene erzeugen, fügt aber hinzu, dass diese eine Zeitlichkeit konstituieren, durch die erst die Bedingungen für Phäno-

mene geschaffen werden. »However, as long as temporalization presupposes differentiation as a possibility of repetition that guarantees identity prior to the actual repetitions it makes possible, causality as intra-actively is precluded.« (Schrader 2010: 295) Auch bei Gaeini et al. spielen Zeitlichkeiten eine zentrale Rolle, denn es sind diese zeitlichen Muster, die die verschiedenen Mäuse und das Training mit hervorbringen. In der Studie scheint es, als würden Maus, Laufband oder Zeitfenster – vier Wochen lang, fünf Tage pro Woche, zehnminütiges Aufwärmen oder 38,4 Minuten Laufen – als immer schon getrennt verstanden. Demnach können die Versuche wie zum Beispiel das Training beliebig oft wiederholt und schließlich in kausale Zusammenhänge gesetzt werden.

Der agentielle Realismus bietet eine Perspektive an, nach der Phänomene und auch Zeit und Raum keine festen Größen außerhalb von Phänomenen sind, sondern selbst Agencies: »time itself is constituted through the dynamics of intra-activity« (Barad 2007: 383). Die Versuchsbedingungen wie zum Beispiel das Training zu unterschiedlichen Zeiten hinterlassen unterschiedliche Spuren auf verschiedenen Körpern und bringen daher verschiedene Phänomene hervor: TE-, CE-, TC- und CC-Mäuse. Aber auch die Apparate werden so erst immer wieder konstituiert. Zum Beispiel existieren Laufrad und Sensor zum täglichen Rundenzählen nicht ohne die Mäuse. Alle sind Teil des Phänomens. Mit Schrader kann erneut die Bedeutung von Zeitlichkeit für ein solches intra-aktives Verständnis betont werden:

»As soon as the ›object of study‹ contributes to its own materialization, a cause can no longer precede its effect in linear externalized time. And, as soon as temporal homogeneity can no longer be presupposed – that is, when ›components‹ of a phenomenon are activities that cannot be assumed to already cohere in time – agential differentiations must be accompanied by temporalization – an intra-active process of *synchronization*.« (Schrader 2010: 296, H.i.O.)

Die zeitlichen Einteilungen sind Agencies, die hier dazu beitragen, dass sich Phänomene konstituieren und als nicht mehr schon bestehende Entitäten mit festen Eigenschaften und Grenzen verstanden werden müssen.

Laut den Altersangaben waren die Versuchstiere sechs Wochen alt, als sie zur Gewöhnung ins Labor von Gaeini et al. kamen, und wurden zunächst zwei Wochen lang mit bestimmten Nährstoffen gefüttert: »AIN-93 rodent diet composition as recommended by the American Institute of Nutrition« (Gaeini et al. 2016: 3635). Ob die Gewöhnung weitere Aspekte umfasst und welche, wird nicht beschrieben. Stattdessen werden ausschließlich die spezielle Nahrung sowie die zeitlichen Einteilungen genannt. Auch der Grund, warum diese Gewöhnungsphase durchgeführt wird, ist nicht angegeben. Möglicherweise wird dies gemacht, um die Mäuse dadurch, dass sie zwei Wochen lang in der gleichen Umgebung verbringen und mit der gleichen Nahrung versorgt werden, gleichen Bedingungen auszusetzen und sie so zu besser vergleichbaren Forschungsobjekten zu machen.

Dass die Autor_innen »acclimatization« schreiben, deutet aber auch darauf hin, dass in der Versuchssituation erst bestimmte Bedingungen und eine spezielle Situation geschaffen werden, an die sich die Mäuse erst gewöhnen müssen. Demnach gibt es nicht die Mäuse vor der Untersuchung, die identisch sind mit denen, die sich zwei Wochen lang eingewöhnen. Die Akklimatisierung weist vielmehr darauf hin, dass dadurch die Mäuse, die sie für die Untersuchung einteilen, erst konstituiert wurden. Sie werden so zu TE-, TC-, CE- und CC-Mäusen. Weitere Agencies sind daran beteiligt: die Nahrung AIN-93M, die unter anderem ermöglicht, dass die Mäuse sich anpassen, die zwei Wochen Zeit zur Gewöhnung sowie die Mäuse selbst, denen es dadurch gelingt, sich zu gewöhnen.

»female offspring bone«

Nach 21 Tagen und nachdem die Jungen nicht mehr gesäugt wurden, trennte man je ein weibliches Junges von den anderen und hielt es bis zum Alter von acht Wochen in einfachen Käfigen. Die Beschreibung »static cage (sedentary)« (ebd.) bedeutet vermutlich, dass es kein Laufrad gab. Danach wurden die getrennten weiblichen Jungen getötet, ihre Oberschenkelknochen entnommen und schockgefroren, um die RNA zu isolieren. Neben den vier Gruppen der Mäusemütter nehmen einige der weiblichen Nachkomminnen beziehungsweise ihre RNA somit eine zentrale Rolle in der Studie ein, denn anhand dieser zwei Komponenten – physische Fitness der (werdenden) Mäusemütter und RNA-Expression in Knochen des weiblichen Nachwuchses – werden die Schlussfolgerungen in der Studie gezogen.

So wird nachvollziehbar, wie das Phänomen »female offspring bone« (ebd.: 3634), wie es im Titel formuliert ist, durch die Laborbedingungen und verschiedenen Apparate und Agencies konstituiert wird. Zahlreiche Schnitte werden erlassen, zum Beispiel wenn ein Mäusejunges, das als weiblich gilt, aus dem Wurf herausgenommen und getrennt in einem Käfig ohne Laufrad gehalten und schließlich getötet wird, um aus einem Knochen RNA zu isolieren. Durch die Beschreibung dessen, was mit den ausgewählten Jungen passierte, werden Schnitte und Apparate sichtbar. Ihnen wurden Medikamente, die zur Narkose und Schmerzlinderung genutzt werden, gegeben: »sacrificed by 40 mg/kg ketamine und 8 mg/kg xylazine« (ebd.: 3635). Zudem wird beschrieben, dass die entnommenen Oberschenkelknochen schockgefroren wurden »in liquid nitrogen and stored at -80°C« (ebd.). All diese Aspekte sind Teil des Phänomens »female offspring bone« und in diesem ontologisch un/trennbar und nicht als unabhängig voneinander existierende Entitäten zu verstehen. Sie machen deutlich, dass viele/s an der (Re-)Konstituierung des Phänomens beteiligt ist/sind.

RNA

Zentral für Gaeini et al. ist auch RNA. Sie beschreiben die Isolierung der RNA und es werden verschiedene Geräte benannt, mit Hilfe derer bei den gepuderten (»powdered«) Oberschenkelknochen RNA isoliert wurde (vgl. ebd.). Für verschiedene Arbeitsschritte vom Reinigen bis zur Analyse setzten die Forschenden unterschiedliche Apparate und Mittel ein: »treated with gDNA Eliminator. RNA was cleaned using an RNeasy Plus Universal Mini Kit [...]. The RNA was converted to cDNA using the PrimeScript™ RTreagent Kit« (vgl. ebd.: 3635, 3636). Insgesamt werden zahlreiche fachspezifische Mittel und Methoden beschrieben, die zur Isolierung und Analyse der RNA genutzt wurden und Hinweise für weitere Bestandteile des Phänomens »RNA« sind. In dieser für mich sehr komplizierten Auflistung von Arbeitsschritten und Hilfsmitteln wird nicht bloß deutlich, wie RNA aus den Oberschenkelknochen isoliert wird, sondern auch, wie RNA sich als Phänomen konstituiert. Genau wie die zuvor genannten Apparate und Hilfsmittel können auch die statistische Signifikanz und die Tests als Teile der untersuchten Phänomene verstanden werden. Die Beschreibungen in der Studie verdeutlichen, dass es sich auch bei RNA nicht um eine separate Entität handelt, die immer schon in spezifischer Form gegeben ist. Mit der Betrachtung der Labor- und Versuchsbedingungen wird es möglich, ihre Materialisierung als Phänomen nachzuvollziehen. Von großer Bedeutung ist, dass sie nicht von den anderen Komponenten der Studie zu trennen ist.⁷

Der diffraktiv gelesene Abschnitt »Material and methods« illustriert, dass die Mittel und Apparaturen als Agencies und Teile der Phänomene TE-, TC-, CE- und CC-Maus, Knochen des weiblichen Nachwuchses sowie RNA verstanden werden können. Daneben gibt es viele weitere hier unbenannte. Durch ein diffraktives Lesen wurden Schnitte sichtbar, die Versuchsbedingungen hinterlassen und als Teile des Phänomens und mit-konstituierende Agencies wirken. So konnte ich einige Phänomene identifizieren, die in der Studie von Gaeini et al. hervorgebracht werden. Dass nicht bloß die Forschungssubjekte Schnitte erlassen, sondern andere intra-aktiv agieren und beteiligt sind, habe ich damit gezeigt. Diese können zwar als agentiell trennbar, aber als ontologisch untrennbar voneinander verstanden werden. Was somit auch deutlich wird, ist die »multiplicity of relations between observer and observed.« (Schrader 2015: 679) Dies führt mich zum nächsten Analyseteil und den Relationen. Denn agentieller Realismus geht von einer relationalen Ontologie aus, in der mit un/bestimmten Phänomenen statt fixen Entitäten auch keine inhärenten Relata gegeben sind.

7 Dass RNA eine zentrale Rolle einnimmt, führe ich im dritten Analyseteil zu Relationen (8.2.3) weiter aus.

8.2.3 Relationen

Im vorangegangenen Text des diffraktiven Lesens habe ich einige Phänomene ausfindig gemacht, die intra-aktiv in der Studie von Gaeini et al. hergestellt werden. Damit ist keineswegs ein einmaliger Prozess gemeint, an dessen Ende eine fixe Entität steht. Phänomene konstituieren sich immer wieder (neu) und stehen in Beziehung zu (vielen) anderen. So werden zum Beispiel die Mäuse nicht separat betrachtet, sondern immer in Beziehung zu anderem: Nachwuchs, Knochen oder Fitness. Welche Relationen in der Studie sichtbar werden, werde ich nun anhand der Position der Mittlerin diskutieren.

»transmitted«

Bisher habe ich eine Mittlerinnenposition vor allem an den Bezeichnungen »mediator«, »intermediate« und »transmitter/transmitted« festgemacht.⁸ In der Studie von Gaeini et al. (2016) wird einer dieser Begriffe benutzt: »Since the embryo or fetus is entirely dependent on information transmitted from the mother and placenta, hormonal and metabolic changes induced by maternal exercise were transmitted from mother to embryo and fetus.« (Gaeini et al. 2016: 3638) Hier geht es um die Übertragung von Informationen und hormonellen sowie Stoffwechseleränderungen von Mutter und Plazenta auf Embryo beziehungsweise Fötus. Aus dem ersten Teil des Satzes lässt sich ableiten, dass Mutter und Plazenta eine Art Zwischenstück und Brücke für die Informationen bilden. Im zweiten Teil scheinen hormonelle und stoffwechselbezogene Veränderungen gemeint, die durch Ausdauertraining der Mutter selbst ausgelöst werden und an den Embryo beziehungsweise Fötus gehen. Die Mutter ist demnach nicht bloß Überträgerin, sondern auch Quelle der Veränderung. Sie wird zugleich als Mittlerin und als Umwelteinfluss konstituiert.

Das korrespondiert mit dem, was Barad anspricht, wenn sie die körperliche Überträgerfunktion und Michel Foucaults Verständnis von Macht und Körper mit einem physikalischen Verständnis verbindet:

»Power is transmitted through the repeated application of pressure on the body. The body reacts to the force, manifest as shifting material alignments and changes in potential, and becomes not simply the receiver but also transmitter or local source of the signal or sign that operates through it.« (Barad 2001: 98)

Wie in diesem Zitat artikulieren sich in der Studie von Gaeini et al. Relationen, denen keine Relata vorausgehen und die nicht in feste Kausalzusammenhänge gesetzt werden können. Die Funktion und Position der Körper in Barads Zitat und in der Studie sind weder feststehend noch eindeutig. Die Mäusermutter kann als

8 Siehe hierzu *Auswahl der Studien* (8.1).

Überträgerin und als Einflussfaktor verstanden werden. Das Phänomen Maus enthält immer auch spezifische Relationen und repositioniert und rekonfiguriert sich darüber. Die Relata existieren nach Barad nur in den Phänomenen und die Phänomene nur in den Relationen. Weder die Entitäten noch ihre Verhältnisse zueinander als fix und präexistierend zu verstehen, verändert somit auch das Verständnis kausaler Zusammenhänge.

An zwei weiteren Stellen in der Studie wird die Verbindung beziehungsweise Vermittlung zwischen Fötus und Mutter angesprochen, jedoch in anderen Formulierungen als mit den Bezeichnungen, die ich zur Auswahl von Studien genutzt habe. »The linkage between the two states (fetal and adult) was termed programming« (Gaeini et al. 2016: 3634) und »factors released into the circulation by exercise during pregnancy could impart robust osteogenic programming effects to the developing fetus« (ebd.: 3639) habe ich bereits im ersten Analyseteil (8.2.1) zitiert, um den Begriff »programming« zu diskutieren. An diesen Stellen geht es aber auch um die Verbindung (»linkage«) zwischen dem Status als Fötus und als ausgewachsener Nachwuchs beziehungsweise zwischen den zeitlichen Ebenen vor und nach der Geburt und den Einfluss des Trainings der Mutter auf den Fötus. Was im zweiten Zitat vermittelt (»impart«), sind die Faktoren, die durch Training während der Trächtigkeit freigesetzt werden. Oben waren es Mutter und Plazenta, die Veränderungen an den Fötus vermitteln. Die »factors released into the circulation by exercise during pregnancy« sind zwar nicht weiter spezifiziert, beziehen sich aber vermutlich auch auf die Mütter und ihre Fitness.

Da diese Faktoren durch das Training der Mutter freigesetzt werden und knochenbezogene Effekte auf den Fötus vermitteln, sind sie ebenfalls zwischen Mutter und Fötus und zwischen verschiedenen Zeiten positioniert. So werden auch hier Relationen erkennbar, die un/trennbar zu den Phänomenen dazugehören – Mütter, Föten, Knochen und vieles mehr. Nach Barad sind kausale Zusammenhänge nicht einfach aufzudecken. In den Zitaten wird der Versuch der Forschenden sichtbar, den Zusammenhang zwischen mütterlichem Training, Schwangerschaft und Fötus zu verstehen. Doch hier zeigt sich auch, wie un/bestimmt die Zusammenhänge sind und, dass Phänomene als »ontologically primitive relations – relations without preexisting relata« (Barad 2007: 139) begreifbar sind. Gaeini et al. und ihre Versuchsbedingungen separieren und setzen wieder in Verbindung, schneiden auseinander und zusammen. Darin tritt die Relationalität der untersuchten Phänomene zu Tage.

RNA als Mittlerin

Epigenetiker_innen interessieren sich sehr für Interaktionen und übertragende Prozesse zwischen Genen und deren Aktivitäten. Auch wenn bei Gaeini et al. keine weiteren vermittelnden Begriffe verwendet werden, gibt es dennoch einen Hin-

weis, dass epigenetische Mechanismen wie Prozesse der Genaktivität eine Art Mittlerrolle einnehmen. Da in der Pilotphase (4. Kapitel) vor allem die RNA als Mittlerin bezeichnet wurde, untersuche ich auch bei Gaeini et al., welche Rolle diese einnimmt. Auch ohne die explizite Bezeichnung von RNA als »mediator« wird deutlich, dass sie eine Position dazwischen einnimmt. Ob die RNA damit auch als Mittlerin fungiert und was das über Relationen aussagt, diskutiere ich im Folgenden.

Ein Großteil des Ergebnis- sowie des Diskussionsteils der Studie beschreibt die verschiedenen Hoch- und Herabregulierungen der mRNA-Expression⁹ auf den sieben Proteinen, Hormonen und Rezeptoren beim Nachwuchs (vgl. Gaeini et al. 2016: 3636). Gemessen wird daran, ob sich Ausdauertraining vor und während der Trächtigkeit positiv auf die Knochengesundheit des weiblichen Nachwuchses auswirkt oder nicht. Der mRNA kommt dabei die Rolle des Markers zu, an dem die Auswirkungen mütterlichen Trainierens und Nicht-Trainierens gemessen und die Effekte für die nachfolgende Generation abgelesen werden: »To our knowledge, these are the first results that demonstrate the effects of preconception endurance training with or without voluntary exercise during pregnancy on gene expression of formation and resorbtion markers in bone.« (ebd.: 3637)

Die mRNA fungiert aber nicht bloß als Marker oder Messwert, sondern auch als Mittlerin. Die mRNA-Expression der Töchter unterscheidet sich je nach Verhaltensweisen beziehungsweise physikalischer Fitness der Mütter. Je nachdem, ob und wann die Muttertiere trainierten, haben die sieben untersuchten Proteine, Hormone und Rezeptoren ihrer Töchter höhere oder niedrigere mRNA-Expressionslevel, was als Indiz für Knochenumbauprozesse und -gesundheit gewertet wird. Die mRNA nimmt also eine Position dazwischen ein, zwischen Verhalten und Zustand der Mütter und Knochengesundheit der Töchter. Durch die mRNA – und nicht bloß durch ihre Hoch- oder Runterregulierung, sondern durch den spezifischen Status jeder mRNA, die sich im Fötus konstituiert – wird der mütterliche Zustand auf den Nachwuchs vermittelt. Die mRNA überträgt hier im Sinne von transgenerationeller Weitergabe über Generationen hinweg, vermittelt aber auch zwischen Lebensbedingungen, Erfahrungen, Verhalten und Konstitution der Mutter sowie gesundheitlichen Folgen für die Tochter. Vermittelt wird hier nicht nur zwischen den Generationen und Individuen, sondern auch zwischen äußerem Einfluss und innerkörperlichen Prozessen und somit wird die Un/Trennbarkeit von dem deutlich, was weit entfernt scheint.

In der Studie von Gaeini et al. und den darin beschriebenen Mechanismen artikuliert sich etwas, was Teil von einer relationalen Ontologie und damit von anderen Raum-Zeit-Materialisierungen im Barad'schen Sinne ist. Da hier Vergangenes

9 Gaeini et al. (2016) erwähnen sowohl RNA als auch mRNA. Es werden viele verschiedene RNAs unterschieden. mRNA steht für messenger RNA und ihr wird die Funktion der Informationsüberträgerin oder Botin zugeschrieben.

nicht abgeschlossen vor Zukünftigem steht und die Erfahrungen und Konstitutionen der einen Generation nicht zu trennen sind von der Gesundheit der nächsten Generation, wird die Vorstellung separater Entitäten brüchig und somit auch deutlich, dass nicht von fixen Relata auszugehen ist. Das Forschungsinteresse der Studie liegt genau hier und Gaeini et al. fragen, wie sich Verhaltensweisen der Mutter auf den Fötus auswirken und somit die Knochen der Tochter beeinflussen können. Hier berühren sich Vergangenes und Zukünftiges und treten als Relationen hervor.

In vielen epigenetischen Untersuchungen wird das Ziel formuliert, Fragen nach der Gen/Umwelt-Interaktion mit der Epigenetik zu erklären und mit Forschungen zu verdeutlichen, in welchem Verhältnis beide zueinanderstehen. Darüber hinaus haben einige Epigenetiker_innen den Anspruch, etwas über die transgenerationalen Effekte des Gen/Umwelt-Verhältnisses auszusagen. Beides ist auch bei Gaeini et al. von Interesse. Verbindendes und vermittelndes Element dieser relationalen Fragen scheint die mRNA zu sein. Diese epigenetischen Mechanismen (RNA-Expressionen) haben in dieser Studie eine Vermittlungsfunktion, wenn sie zum Verbindungsstück zwischen Genen und Umwelten, Körperaußen und Körperinnen, Mutter und Tochter, Vergangenen und Zukünftigem werden. Denn die mRNA-Expressionen der sieben untersuchten Proteine, Hormone beziehungsweise Rezeptoren einiger weiblicher Nachkomminnen sind es, die hier untersucht und herangezogen werden, um etwas über den Effekt von Ausdauertraining (Mutter, Körperaußen, Umwelt, Vergangenes) vor und während der Trächtigkeit und die Folgen für die Knochengesundheit (Tochter, Körperinnen, Gen(-expression), Zukünftiges) auszusagen. Somit werden die als voneinander entfernte Elemente als un/trennbar ersichtlich. Eine vermittelnde Position kann deutlich machen, dass Phänomene aus Relationen bestehen (»relata-within-phenomena« (Barad 2007: 140)), da sie in spezifischen Intra-aktionen konstituiert werden. Anders als Interaktionen weisen sie daher nicht auf (zwei) getrennte Entitäten hin, sondern betonen die Un/Trennbarkeit beziehungsweise agentielle Trennbarkeit.

Darin drückt sich auch ein anderes Raum-Zeit-Verhältnis aus. Barads »spacetime-matterings« macht die Verknüpfung all dieser Größen deutlich, von denen keine feststehend und immer schon gegeben ist, sondern die ebenfalls intra-aktiv hervorgebracht werden in den Phänomenen. Wie schon im vorherigen Analyseteil erwähnt, ist zentral, dass sie nicht vor dem Phänomen als feste Größe bereits existieren und linear ablaufen. Körperaußen und Körperinnen, Vergangenes und Zukünftiges, Gene und Umwelten sind keine feststehenden Entitäten, da auch Raum und Zeit keine festen Unterscheidungsgrößen sind. Alles ist vielmehr miteinander verschränkt und erst agentell trennbar und bestimmt: »Where change is not a continuous mutation of what was or the unraveling of what will be, or any kind of continuous transformation in or through time, but the iterative differentiatings of spacetime-matterings.« (ebd.: 179) »Spacetime-matterings« artikulieren sich auch in der Studie von Gaeini et al. (2016). Die veränderte, hoch- oder herabregulier-

te mRNA-Expression ist nicht bloß Marker für, sondern auch Mittlerin zwischen bestimmte(n) Einflüsse(n) in der Vergangenheit und für gesundheitliche Folgen in der Zukunft. »This difference suggests that the regular exercise training and voluntary exercise performed by dams in preconception period and during pregnancy resulted in a fundamental alternation on bone biology of their pups.« (Gaeini et al. 2016: 3638) Die mRNA ist also keine dauerhafte Veränderung von dem, was war oder sein wird – zumindest nicht für die Mutter selbst, und ob es über die Tochtergeneration hinausgeht, wird nicht untersucht beziehungsweise ist unbekannt.

In epigenetischen Fachdebatten geht es häufig um die Frage, wie stabil eine Veränderung ist und ob sie an die nächste(n) Generation(en) weitergegeben wird. Barad geht davon aus, dass es keine kontinuierlichen Veränderungen gibt, da keine abgeschlossene Vergangenheit hinter Zukünftigem liegt. Zeitlichkeit verläuft nicht linear und chronologisch. Auch bei Gaeini et al. (2016) werden un/trennbare »spacetime matters« transparent, denn die mRNA markiert keine dauerhaften Veränderungen von dem, was war. Das macht die Frage danach, wie stabil die Veränderungen weiterwirken und weitergegeben werden, obsolet. Vielmehr eröffnet die Studie die Möglichkeit, Zeit und Raum nicht als linear zu begreifen, sondern Vergangenes, Gegenwärtiges und Zukünftiges als relational. Wenn das Training vor der Schwangerschaft die Knochengesundheit des Nachwuchses beeinflusst, dann vermittelt die mRNA etwas für die Tochtergeneration, was vor ihr da war. Die Knochen haben je nach Training der Mutter ein geringeres oder erhöhtes Risiko, im Erwachsenenalter an Osteoporose zu erkranken. Sind die Töchter erwachsen, wirkt sich also etwas aus, was stattfand, noch bevor sie existierten. Sobald der Nachwuchs ausgewachsen ist werden die Nachfahrinnen der fitteren Mütter kein Osteoporoserisiko haben – anders als die der weniger und gar nicht trainierten Mäuse, deren Knochen dann möglicherweise anfällig für Krankheiten sind. Wenn Osteoporose bei den Töchtern auftritt oder ausbleibt, ist das, was dies laut Gaeini et al. verursacht, längst nicht mehr da, aber noch in ihnen zu finden. Das resoniert mit dem, was Subramaniam schreibt: »invisible things are not necessarily not-there« (Subramaniam 2014: 22).¹⁰

Im Zusammenhang mit der Quantenfeldtheorie (QFT)¹¹ setzt auch Barad sich mit dem Nichts auseinander und greift dazu das Gespenstische auf:

10 Subramaniam schreibt über die Wissenschaftsgeschichte von Evolutionsbiologie und Eugenik und deren bis heute spukenden Geister weiter: »In learning to see ghosts, scientific practice transforms into a deep-seated historical practice, where the objects and subjects of science and their histories come hurtling into focus. But it is this kind of seeing that disciplinary thinking has systematically excluded.« (Subramaniam 2014: 22)

11 Quantenfeldtheorie beschreibt quantenmechanische Vielteilchensysteme und ist Grundlage vieler physikalischer Teilgebiete (vgl. Philipsen 2018).

»Some understand hauntings as one or another form of subjective human experience – the epistemological revivification of the past, a recollection through which the past makes itself subjectively present. But according to QFT, *hauntings are lively indeterminacies of time-being, materially constitutive of matter itself* – indeed, of everything and nothing. Hauntings, then, are not mere rememberings of a past (assumed to be) left behind (in actuality) but rather the dynamism of ontological indeterminacy of time-being/being-time in its materiality.« (Barad 2017: G113, H.i.O.)

Etwas Ähnliches zeigt sich bei Gaeini et al. (2016): In der Knochengesundheit der Tochtergeneration macht sich nicht bloß die Vergangenheit (der Mutter) bemerkbar und die mRNA erinnert sich nicht einfach an die Bedingungen vor der Zeugung beziehungsweise vor der Geburt. Was Barad als Spuken bezeichnet, spiegelt sich hier wider, denn an was die RNAs sich erinnern und woran sie anknüpfen müsste, fand statt, bevor die RNAs da waren und die Nachfahrrinnen überhaupt gezeugt wurden. Lineare Auffassungen von Zeit lösen sich somit auf. Hier zeigt sich erneut die Un/Bestimmtheit und Relationalität von Vergangenem und Zukünftigem: Die Fitness der Mutter spukt gewissermaßen in den Knochen der Töchter, wenn diese erwachsen sind. Sie ist nicht mehr da und zugleich doch noch da und beeinflusst so das Risiko, an Osteoporose zu erkranken. So ist zu erklären, dass die mRNA das vermittelt, was stattfand, bevor sie da war. In ihrer Relationalität macht sie die gespenstische Verbindung dessen deutlich, was sich in einem konventionellen Sinne separater Entitäten, linearer Zeiten und getrennter Räume gar nicht berührt.

In diesem Analyseteil habe ich diskutiert, was sich zeigt, wenn ich die Passagen in Gaeini et al. (2016) zur Funktion der RNA als Mittlerin mit Barads Verständnis von Relationen und Relata durch einander hindurch lese. Gaeini et al. unterscheiden zeitliche Phasen und Ursache von Wirkung sowie vier verschiedene Gruppen von Mäusemüttern und diese von ihren Töchtern. In einem diffraktiven Lesen artikulieren sich diese aber als Teile von Relationen, die da sind und wieder verschwinden, im Erforschen (re-)konstituiert und doch un/bestimmt sind. Die Phänomene konnten so als Relata begriffen werden. Die Mütter beispielsweise traten als Mittlerinnen und Umwelteinflüsse auf, die spezifische Folgen für die zukünftige Gesundheit des Nachwuchses haben. Stärker noch wurden anhand der RNA die Relationen deutlich, die als Mittlerin zwischen Müttern und Töchtern und somit zwischen verschiedenen Generationen und Zeiten, Körperaußen und Körperinnen oder Genen und Umwelt konstituiert werden. Da die mRNA eine Position dazwischen einnimmt, artikulieren sich in der Studie Un/Trennbarkeiten und Relationalität, die jedes Phänomen ausmachen. Dies führt mich zu einem letzten Analyseteil, in dem ich den zeitlichen, aber auch anderen Verschränkungen in der Studie nachgehe.

8.2.4 Verschränkungen

In diesem letzten Analyseteil widme ich mich den Verschränkungen, die sich in der Studie von Gaeini et al. zeigen und sich zum Teil bereits im Vorherigen artikuliert haben. Meine bisherigen Befunde überlagerten sich immer wieder, wenn beispielsweise Phänomene auf Un/Bestimmtheiten und Relationen hinwiesen. Darauf beziehungsweise, stelle ich im Folgenden drei verschiedene Arten von Verschränkungen vor, die sich im diffraktiven Lesen bei Gaeini et al. präsentiert haben.

Mütter, Föten und Plazenten

Im letzten Analyseteil habe ich mich bereits mit dem Verhältnis von Mutter, Plazenta und Fötus auseinandergesetzt und vor allem an der Bezeichnung als Mittlerin diskutiert, was sich verschiebt, wenn sie nicht als Relata, sondern in ihren spezifischen Relationalitäten aufgefasst werden, die immer wieder (re-)konfiguriert werden. Yoshizawa geht der Frage nach, was genau die Plazenta ist und wie dieses Phänomen konstituiert wird, das erst mit einer Schwangerschaft entsteht und sowohl zur Mutter als auch zum Fötus gehört und so auf ihre Verschränkungen hinweisen kann. Ausgehend von ihren Analysen zur Plazentaforschung nutzt auch sie Barads Begrifflichkeit und versteht Plazenta als Intra-aktionen »that do not necessarily disambiguate mothers and fetuses.« (Yoshizawa 2016: 90) Dass es passend ist, auch bei der Studie von Gaeini et al. von Intra-aktionen und Verschränkungen zu sprechen, zeigt sich vor allem an den bereits zitierten Stellen zur Mittlerin sowie zu den »maternal and fetal adaptations« (Gaeini et al. 2016: 3634) beziehungsweise den »fetoplacental adaptations« (ebd.: 3638), die ich in 8.2.3 als Relationen ausgeführt habe. Diese Zitate machten deutlich, dass Mutter, Fötus und Plazenta nicht unbedingt als separate Entitäten aufzufassen sind.¹²

Im Versuch der Forschenden, die »maternal and fetal adaptations« (ebd.: 3634) beziehungsweise die »fetoplacental adaptations« (ebd.: 3638) aufzudecken und zu begreifen, können ihre Verschränkungen deutlich werden: Denn diffraktiv gelesen ist nicht einfach von außen zu definieren, in welcher Form die mütterliche Erfahrung (Training) den Fötus erreicht und seine Knochengesundheit betrifft. Es ist nicht zu erkennen oder zu benennen, wo die Mutter aufhört, wo die Plazenta und wo der Fötus beginnen. Der Einfluss von mütterlichem Verhalten auf die Plazenta wird in einer anderen Studie am Wachstum festgemacht, so Gaeini et al.: »Mid-trimester placental growth rates significantly were greater in those women who took part in a moderate or high-volume exercise program during early pregnancy.« (ebd.) Da die Forschenden selbst nichts über die exakten Zusammenhänge und

12 Auch Yoshizawa schreibt: »central to the concepts of placentation and fetal-maternal interface is the assumption that mother and fetus are [...] *relata*: pre-existing, interacting entities.« (Yoshizawa 2016: 80, H.i.O.)

Kausalitäten angeben, können onto-epistemologische Un/Bestimmtheiten sichtbar werden. Wenn Gaeini et al. etwas über die Übertragung von der Mutter auf Plazenta und Fötus und deren Zusammenhänge aussagen, kann aber auch deutlich werden, dass es sich nicht um unabhängige Entitäten handelt. Mütter, Föten und Plazenten artikulieren sich hier vielmehr in ihren Verschränkungen.

Raumzeitliche Verschränkungen

Gaeini et al. geht es darum, die Effekte von Ausdauertraining vor und während der Trächtigkeit auf die Knochengesundheit des erwachsenen weiblichen Nachwuchses zu untersuchen. Hier sind nicht nur verschiedene Individuen, sondern auch unterschiedliche Zeiträume von Interesse: vor der Trächtigkeit, während der Trächtigkeit und nach der Geburt. Da es auch um den Einfluss des Trainings auf den Nachwuchs geht, das vor der Trächtigkeit stattfand, zeigen sich besonders hierin raumzeitliche Verschränkungen. Denn für den späteren Nachwuchs werden Erlebnisse als relevant bezeichnet, die noch vor seiner Zeugung und Entstehung passierten und als ebenso einflussreich gelten wie Ereignisse während der Trächtigkeit, also nachdem der Fötus bereits existiert. Die Nachfahrinnen der TC-Mäuse, die ausschließlich vor der Trächtigkeit trainierten, unterscheiden sich laut Gaeini et al. von denen, die nur während der Trächtigkeit (CE) trainierten, und denen, die gar nicht trainierten (CC). Erstere haben ein weniger hohes Risiko, an Osteoporose zu erkranken, da sich die Vergangenheit ihrer Mütter unterscheidet (an der sie noch gar nicht beteiligt waren). Hierin artikuliert sich etwas, das auch in Schraders Text über *Pfiesteria* zu finden ist: »Inheritance brings forth a past that has never been present as future trace through intra-active synchronization of multiple activities« (Schrader 2010: 296). Es verschränken sich Aktivitäten über verschiedene Zeiten und durch unterschiedliche Räume, die für die Nachkommen gar nicht präsent waren, aber ihre Zukunft beeinflussen. Es sind nicht nur zeitliche Verschränkungen, die sich hier zeigen, denn schließlich sind auch diverse Räume daran gekoppelt: Laufräder und andere Trainingseinheiten in Käfigen der Mütter, ihre Gebärmütter sowie die RNA des Nachwuchses.

Die zentrale Annahme der Studie sowie vieler epigenetischer Arbeiten, dass Erfahrungen der Elterngeneration weitergegeben werden können, überlagert sich auch mit Barads folgender Aussage: »There is no erasure finally. The trace of all reconfigurings are written into the enfolded materializations of what was/is/to-come.« (Barad 2010: 264) Bei Gaeini et al. bleibt offen, wie zu erklären ist, dass das Training vor der Trächtigkeit Einfluss auf die Knochen des zukünftigen Nachwuchses hat. Ist es damit zu begründen, dass Föten trainierter Mütter auf andere »Bedingungen« treffen als Föten untrainierter Mütter? Oder gibt es so etwas wie einen Speicher, so dass auch schon das Training vor der Trächtigkeit »Spuren« bei Müttern und Föten hinterlässt? Wie kann das Training in Erinnerung bleiben? Solche

Fragen, die sich in ähnlicher Form viele Epigenetiker_innen stellen, beschäftigten auch schon Waddington: »an effective heredity system requires both a memory store, which must be constructed of rather inactive materials if it is to be stable enough and a mechanism not only for being replicated but also for affecting its surroundings.« (Waddington 1968: 525) Was hier angesprochen wird, ist die Möglichkeit, permanente Erbinformationen zu speichern, aber auch flexibel auf spezifische Bedingungen zu reagieren. Dies impliziert, dass es etwas Stabiles gibt, das weitergegeben wird an die nächste(n) Generation(en), und dass es Instabiles oder Unvorhersehbares gibt, was die Nachkomminnen beeinflusst.

Gaeni et al. deuten an, dass der Umwelteinfluss – in ihrer Studie die mütterliche Fitness – zu permanenten Veränderungen führt: »Evidence is accruing that environmental factors in utero may permanently modify the postnatal pattern of skeletal growth to peak and thus influence risk of osteoporosis in later life.« (Gaeni et al. 2016: 3634) Hier beziehen sie sich nur auf Forschungen, die den Einfluss während der Trächtigkeit belegen, machen aber nochmals deutlich, dass dieser Einfluss nicht bloß den Fötus in der Gebärmutter beeinflusst, sondern sein Risiko, im späteren Leben an Osteoporose zu erkranken. Denn die epigenetischen Veränderungen seien permanent, so die Forschenden. Unklar ist, ob eine permanente Veränderung nur für die Tochtergeneration oder noch darüber hinaus besteht. Was sich (bei allen Unklarheiten) zeigt, ist, dass sich in der Studie zeitliche Fenster und Vergangenes, Gegenwärtiges und Zukünftiges überlappen und nicht klar unterscheidbar sind, sondern verschränkt. Da für das spätere Leben des Nachwuchses auch als relevant gilt, was für die Mutter vor der Trächtigkeit galt, werden nicht nur ihre Verschränkungen deutlich, sondern auch gängige Einteilungen von Zeit brüchig. Sie können nicht im chronologischen Sinne verstanden werden, nach dem Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft linear aufeinander folgen und jeweils abgeschlossen werden.

An den mRNA-Expressionen wird der Einfluss des mütterlichen Trainings auf die Knochengesundheit des Nachwuchses gemessen. Die mRNA (Expression) kann somit nicht nur als Mittlerin, sondern als Gedächtnis(-speicher) verstanden werden, der Mutter und Fötus sowie verschiedene Zeiträume verbindet und ihre Verschränkungen auffindbar macht. Nach Barad zeigen sich im Erinnern genau solche Verschränkungen:

»Remembering is not a process of recollection, of the reproduction of what was, of assembling and ordering events like puzzle pieces fit together by fixing where each has its place. Rather, it is a matter of re-mem-bering, of tracing entanglements, responding to yearnings for connection, materialized into fields of longing/belonging, of regenerating what never was but might yet have been.« (Barad 2015c: 406, 407)

Die Studie von Gaeini et al. (2016) eröffnet in der Untersuchung der transgenerationalen Effekte von mütterlichem Training auf die Knochen des weiblichen Nachwuchses nicht nur ein anderes, nicht-lineares Verständnis von Zeitlichkeit und Erinnern, sondern entfaltet auch raumzeitliche Verschränkungen.

Speziesübergreifende Verschränkungen

Gaeini et al. untersuchen Mäuse, beziehen sich aber häufig auf Ergebnisse anderer Untersuchungen mit Menschen. In der Einleitung zitieren sie zum Beispiel einige Studien und Texte,¹³ die sich auf Untersuchungen von schwangeren Frauen beziehen, und führen dann die bereits erwähnten Empfehlungen des Institute of Medicine an, schwangere Frauen zu einem gesunden Lebensstil zu motivieren (vgl. Gaeini et al. 2016: 3634). Es folgt die Beschreibung ihrer Forschungsfrage sowie ihres Vorgehens und der Ergebnisse der Untersuchung von Mäusen. Im Diskussionsenteil wird erwähnt, dass es bisher keine vergleichbaren Forschungen gab, aber auf vergangene Studien verwiesen, die ähnliche Aspekte bei Menschen erforschten (vgl. ebd.: 3638). Die Wissenslücken versuchen Gaeini et al. mit Studien über Menschen auszugleichen, untersuchen aber selbst Mäuse. Es wird explizit von »women« (ebd.: 3634, 3638) in Bezug auf andere Studien gesprochen. Dadurch können sie mehr Forschungsmaterial und Hinweise zusammenführen, um umfangreiche Antworten auf ihre Fragen zu erhalten. Der wechselnde Bezug auf Untersuchungen, in denen sowohl Tiere als auch Menschen erforscht wurden, könnte so gedeutet werden, dass es für Gaeini et al. keinen Unterschied macht, mit welchen Lebewesen die Experimente durchgeführt werden.

Gaeini et al. unterscheiden zwischen Mensch und Tier, doch setzen sie auch beide gleich, wenn sie Informationen über die eine Spezies heranziehen, um etwas über die andere auszusagen. In der gleichzeitigen Zusammenführung und Abkopplung von Mäusen und Menschen verschiebt sich immer wieder, worin sie sich unterscheiden und worin sie gleich sind und somit die Trennungslinie zwischen beiden Spezies. Dadurch, dass sie sich auf beides gleichermaßen beziehen, treten ihre Verschränkungen zu Tage. Besonders an den Stellen, an denen »mother« geschrieben ist, verliert sich im Lesen der Studie immer wieder der Überblick, welche Mütter gemeint sind. Erst im Kontext wird deutlich, um welche Lebewesen es jeweils geht: »It should be noted that there is an increasing focus on the consequence of the pre-conceptual status of the mother« (ebd.: 3634) oder »information transmitted from the mother and placenta« (ebd.: 3638). Dass mit »mother« beide Arten von Lebewesen gemeint sein können und in diesen Benennungen nicht differenziert wird zwischen Mensch und Tier, weist auf die Verschränkungen beider hin. Mal unterscheiden Gaeini et al. Tiere von Menschen, mal tun sie es nicht und

13 Die Quelle in ihrer Endnote 11 bezieht sich zudem auf eine Studie mit Ratten, Endnote 13 auf eine Untersuchung von Schweinen.

genau diese Praxis macht deutlich, wie Tiere und Menschen in der Untersuchung immer wieder auseinander- und zusammengeschnitten werden.

Auch Bezeichnungen wie »preconception« und »voluntary exercise« veranschaulichen, dass Mäuse und Menschen verschränkt sind. Beides wird in Zusammenhang mit den Mäusen genannt, was irritieren könnte. Denn »preconception« bezeichnet die Zeit, bevor eine Person schwanger wird und in der eine Schwangerschaft geplant wird. Auch bei den Mäusen gibt es die Zeit vor der Trächtigkeit, doch geht man wohl eher davon aus, dass sie im Vergleich zu Menschen eine Trächtigkeit nicht planen können. Zudem ist »freiwillig« etwas, was in der Studie Tieren zugesprochen wird, sich aber klassischerweise auf die Vorstellung eines freien Willens bezieht, der eher Menschen zugestanden ist.¹⁴ Auch durch diese Begriffe verschwimmt die Grenzziehung zwischen Menschen und Tieren. Ihre Unterscheidung scheint nicht mehr als gegeben voraussetzbar. Vielmehr wird ihre Verschränkung deutlich, was mit der agentiell realistischen Vorstellung korrespondiert, dass die Grenzen zwischen Menschen und Nicht-Menschen durch spezifische Praxen gezogen werden. Barad schreibt: »the very practices by which the differential boundaries of the human and the nonhuman are drawn are always already implicated materializations. [...] This is a result of the nondeterministic causal nature of agential intra-action« (Barad 2007: 153). Bei Gaeini et al. (2016) artikulieren sich Verschränkungen diverser Phänomene, Elemente, Lebewesen, Sphären und Zeiten.

In der Studie wird davon ausgegangen, dass die Effekte von Ausdauertraining vor und während der Trächtigkeit übertragen werden auf den Fötus. Festgemacht wird dies an der mRNA-Expression einiger Rezeptoren und Hormone. Wie genau dies geschieht, können Gaeini et al. nicht erklären. Wie ich ausgeführt habe, muss das nicht auf epistemologische Unschärfen oder Schwächen hinweisen. Vielmehr artikulieren sich hier onto-epistemologische Un/Bestimmtheiten. Anhand

14 Die Formulierung »voluntary« kann suggerieren, dass es einen freien Willen und somit etwas wie Subjektivität gibt, aufgrund dessen es möglich ist, eine »freie Wahl« zu treffen. In philosophischen Debatten, wo dies seit langem diskutiert wird, bezieht man sich hierbei meistens auf menschliche Subjekte (vgl. z.B. Keil 2017). Weitere Begriffe sind in diesen Diskussionen präsent und selten werden sie als Fähigkeiten bezeichnet, die Tieren zugeschrieben werden (vgl. z.B. Sripada 2016). Das schneidet zahlreiche Diskussionen an, die unter anderem in Neurowissenschaften geführt werden (vgl. z.B. Soon et al. 2008), und die ich hier nicht weiterführen kann. Es sei jedoch angemerkt, dass mit diesen Fragen auch kritische Betrachtungen darüber verbunden sind, welchen Menschen ein freier Wille zugestanden wurde und wird. Mit Blick auf koloniale Vergangenheiten diskutiert zum Beispiel Alexander G. Weheliye, dass Schwarzen Menschen oftmals kein freier Wille zugestanden wurde (vgl. Weheliye 2014) und unter anderem dadurch ausbeuterische, gewaltvolle und oftmals tödliche Umgangsweisen legitimiert waren.

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.