

Lisa Krall

EPIGENETIK ALS INTRA-AKTION

Diffraktives Lesen
umweltepigenetischer Studien
mit Karen Barads agentiellem Realismus

[transcript] GenderStudies

Lisa Krall
Epigenetik als Intra-aktion

Gender Studies

Lisa Krall (Dr.phil), geb. 1988, ist seit 2015 wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Universität zu Köln, wo sie promovierte und zu Themen der Gender Studies lehrt. Ihre Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich der Feminist Science Studies und feministischen neuen Materialismen.

Lisa Krall

Epigenetik als Intra-aktion

Diffraktives Lesen umweltepigenetischer Studien
mit Karen Barads agentiellem Realismus

[transcript]

Diese Dissertation wurde von der Humanwissenschaftlichen Fakultät der Universität zu Köln im Februar 2022 angenommen.



The EOSC Future project is co-funded by the European Union Horizon Programme call INFRAEOSC-03-2020, Grant Agreement number 101017536

Die freie Verfügbarkeit der E-Book-Ausgabe dieser Publikation wurde ermöglicht durch das Projekt EOSC Future.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.



Dieses Werk ist lizenziert unter der Creative Commons Attribution 4.0 Lizenz (BY). Diese Lizenz erlaubt unter Voraussetzung der Namensnennung des Urhebers die Bearbeitung, Vervielfältigung und Verbreitung des Materials in jedem Format oder Medium für beliebige Zwecke, auch kommerziell. (Lizenztext: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>)

Die Bedingungen der Creative-Commons-Lizenz gelten nur für Originalmaterial. Die Wiederverwendung von Material aus anderen Quellen (gekennzeichnet mit Quellenangabe) wie z.B. Schaubilder, Abbildungen, Fotos und Textauszüge erfordert ggf. weitere Nutzungsgenehmigungen durch den jeweiligen Rechteinhaber.

Erschienen 2023 im transcript Verlag, Bielefeld

© Lisa Krall

Umschlaggestaltung: Maria Arndt, Bielefeld

Umschlagabbildung: Victoria Borodina, »Dna, Biology, Science« / www.public-domainpictures.net

Korrektur: Marie Krämer

Druck: Majuskel Medienproduktion GmbH, Wetzlar

Print-ISBN 978-3-8376-6433-1

PDF-ISBN 978-3-8394-6433-5

<https://doi.org/10.14361/9783839464335>

Buchreihen-ISSN: 2625-0128

Buchreihen-eISSN: 2703-0482

Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier mit chlorfrei gebleichtem Zellstoff.

Besuchen Sie uns im Internet: <https://www.transcript-verlag.de>

Unsere aktuelle Vorschau finden Sie unter www.transcript-verlag.de/vorschau-download

Inhalt

1. Einleitung: Diffraktives Lesen umweltepigenetischer Studien mit Karen Barads agentiellem Realismus	9
1.1 Theoretische Bezüge und interdisziplinäre Verortung der Arbeit	16
1.1.1 Feministische Wissenschaftstheorie	17
1.1.2 Feministisch (neu-)materialistische Debatten	21
1.2 Aufbau und Struktur der Untersuchung	26
2. Zwischen Genen und Umwelten.	
Entstehung und aktuelle Forschungsfragen der Epigenetik	29
2.1 Begriffsursprung und Entwicklung der Epigenetik bei Conrad Waddington	30
2.2 Epigenetische Modifikationen und molekularbiologische Prozesse. Aktuelle Ansätze und Forschungsschwerpunkte	36
2.3 Stress, Trauma, Hunger – Erforschung von Umweltfaktoren in der Epigenetik	42
3. Diskussion der Epigenetik in Geschlechter- und Wissenschaftsforschung	49
4. Entwicklung analytischer Anhaltspunkte. Erste empirische Phase	59
4.1 Zum Untersuchungsgegenstand naturwissenschaftlicher Studien. Charakteristische Merkmale nach Karin Knorr-Cetina	61
4.2 Kaati et al.: Mortality determined by (grand-)parents' nutrition	65
4.2.1 Zusammenfassung der Studie	65
4.2.2 Die Ernährung von Großeltern beeinflusst Erkrankungen bei Enkeln	67
4.3 McGowan et al.: rRNA hypermethylation in suicide brain	69
4.3.1 Zusammenfassung der Studie	69
4.3.2 Zur veränderten Genexpression im Gehirn durch Missbrauchserfahrungen	71
4.4 Weaver et al.: Epigenetic programming by maternal behavior	73
4.4.1 Zusammenfassung der Studie	73
4.4.2 Der Einfluss mütterlichen Pflegeverhaltens auf die Stressbewältigung der Nachfahr_innen	76
4.5 Gapp et al.: Implications of sperm RNAs of the effects of early trauma	80
4.5.1 Zusammenfassung der Studie	80

4.5.2	Über die Zusammenhänge von sncRNA, Sperma und traumatischen Stresserfahrungen	82
5.	Forschungsfokus: Ambivalente Gleichzeitigkeiten in der Umweltepigenetik	87
6.	Karen Barads agentieller Realismus	95
6.1	Zentrale Begriffe und Konzepte bei Barad	95
6.1.1	Agentieller Realismus und Ethico-Epistem-Ontologie	95
6.1.2	Differenzen, Grenzziehungen und Verschränkungen	99
6.1.3	Von agentieller Separierbarkeit und Intra-aktionen, Phänomenen und ›spacetime-matterings‹	103
6.1.4	Agentielle Schnitte und Apparate	107
6.1.5	Körper, Objektivität und Verantwortung	110
6.1.6	Un/Bestimmtheit und Materie	115
6.1.7	Agency und posthumanistische Performativität	118
6.1.8	Kausalitäten und Relationen	120
6.2	Zu Barads diffraktiver Methodologie	121
7.	Entwicklung eines diffraktiven Apparats	127
8.	Diffraktives Lesen umweltepigenetischer Studien mit Barads agentiellem Realismus. Zweite empirische Phase	135
8.1	Zur Auswahl der Studien	135
8.2	Gaeini et al.: Preconception endurance training influences female offspring bone ...	137
8.2.1	Un/Bestimmtheiten	143
8.2.2	Phänomene	152
8.2.3	Relationen	157
8.2.4	Verschränkungen	163
8.3	Marty et al.: Deletion of gene cluster enhances anxiety-related behaviour	168
8.3.1	Un/Bestimmtheiten	177
8.3.2	Phänomene	188
8.3.3	Relationen	194
8.3.4	Verschränkungen	197
8.4	Su-Keene et al.: Simulated climate warming modulates testicular RNA expression ...	206
8.4.1	Verschränkungen	212
8.4.2	Phänomene	214
8.4.3	Relationen	218
8.4.4	Un/Bestimmtheiten	223
8.5	Vergleich der Studien anhand des diffraktiven Apparats.	
	Zusammenfassende Ergebnissicherung	227
8.5.1	Un/Bestimmtheiten	233

8.5.2	Phänomene	235
8.5.3	Relationen	237
8.5.4	Verschränkungen	240
9.	Epigenetik als Intra-aktion. Neue Anordnungen und Figurationen durch diffraktives Lesen von umweltepigenetischen Studien	245
9.1	Mütter als Verschränkungen	252
9.2	›responses‹ als Un/Bestimmtheiten	255
9.3	Fazit: Epigenetik als Intra-aktion	259
	Literaturverzeichnis	265
	Danksagung	285

1. Einleitung: Diffraktives Lesen umweltepigenetischer Studien mit Karen Barads agentiellem Realismus

»These studies offer an opportunity to clearly define the nature of gene-environment interactions during development« (Weaver et al. 2004: 852)

»Rather, ›environment‹ and ›bodies‹ are intra-actively co-constituted.«

(Barad 2007: 91, H.i.O.)

Mit diesen beiden Zitaten zu beginnen, könnte gewagt sein. Während die Epigenetiker_innen im Forschungsteam um Ian Weaver davon ausgehen, dass (umwelt-)epigenetische Studien die *Interaktionen* von Genen und Umwelt zu klären vermögen (vgl. Weaver et al. 2004), schlägt die feministische Wissenschaftstheoretiker_in und Quantenphysiker_in Karen Barad den Neologismus ›Intra-aktionen‹ vor, um sich von binären Interaktionen zu distanzieren (vgl. Barad 2007). Ein Wagnis kann dieser Einstieg sein, wenn der Eindruck entsteht, dass nun diese beiden Konzepte gegenüber und gegeneinander gestellt werden. Das ist jedoch ausdrücklich nicht Anliegen der vorliegenden Arbeit. Vielmehr geht es um ein ›gleichberechtigtes Durch-einander-hindurch-Lesen‹ (vgl. ebd.: 92, 93) umweltepigenetischer Arbeiten, feministischer Wissenschaftstheorie – vor allem Barads ›agentiellem Realismus‹ – und weiterer Texte aus Geschlechter- und Wissenschaftsforschung. Um nicht eine kontrastive Gegenüberstellung vorzunehmen, sondern Resonanzen und Überlagerungen beider Ansätze zu diskutieren, orientiert sich das Vorgehen an Barads ›diffraktiver Methodologie‹ (vgl. z.B. Barad 2014).

Differenzsetzungen zwischen Natur/Kultur, Genen/Umwelten, Körperinnerem/Körperäußerem, vergangen/gegenwärtig/zukünftig oder zwischen verschiedenen Generationen sind in der Epigenetik sehr präsent. Sie sind zudem Gegenstand feministischer Theorien, in denen Differenzen, die unhinterfragt und selbstverständlich, als einzig wahre und universell gültige Einteilungen gelten, problematisiert werden. Denn:

»Bestimmte Dualismen haben sich in der westlichen Tradition hartnäckig durchgehalten, sie waren systematischer Bestandteil der Logiken und Praktiken der

Herrschaft über Frauen, [...] Menschen [of Color, L.K.], Natur, ArbeiterInnen, Tiere – kurz, der Herrschaft über all jene, die als Andere konstituiert werden und deren Funktion es ist, Spiegel des Selbst zu sein.« (Haraway 1995a: 67)

Geschlechterforscher_innen analysieren den normierenden, ausschließenden und hierarchisierenden Charakter von Differenzen, die Anordnungen, Perspektiven und Lebensweisen jenseits gängiger Differenzlinien verunmöglichen und diffamieren. In den Naturwissenschaften werden die oben gelisteten Differenzen meist unhinterfragt vorausgesetzt und als allgemeingültig fortgeschrieben. Die Art und Weise der Differenzsetzung in Naturwissenschaften ist eng mit der westlichen Moderne verbunden (vgl. Schultz et al. 2006: 227). Dort findet schließlich ein expliziter Bezug auf normierte, naturalisierte, hierarchisierte und universalistische Differenzen statt: Aber »[a]ußerhalb der Prämisse der Aufklärung – das heißt der Moderne – verlieren all die binären Oppositionen wie Kultur/Natur, Wissenschaft/Gesellschaft, das Technische/das Soziale ihre gemeinsame konstituierende oppositionelle Qualität. Keine Kategorie kann die andere erklären.« (Haraway 2017: 41) Dualismen implizieren eine hierarchische Struktur und Opposition, sind aber nur eine Form der Einteilung. Differenzen können mehr sein als nur eine binäre Zweiteilung und ermöglichen auch ein Loslösen von hierarchischen Setzungen. Analysen feministischer Theoretiker_innen machen daher auf andere Differenzsetzungen jenseits der Logik eines cartesianischen Dualismus¹ aufmerksam, die andere Anordnungen offenbaren und neue Geschichten ermöglichen. Das ist zentral, denn:

»Wenn sich wissenschaftliche Fakten (lat. *facere* für dt. *machen*) zu Ursprungsgeschichten des Globalen Norderns naturalisieren, also zu jenen Erklärungen über die Entstehung und Entwicklung der Menschen, dann spielt das Erzählen von anderen Geschichten eine grundlegende Rolle für feministisch-kritische Theorien und Genealogien.« (Gramlich 2020: 13, H.i.O.)

Meine These ist, dass die in der Umweltepigenetik beobachteten Differenzen ständig in Bewegung sind, sich auflösen und überschritten werden, und dass dies mit Barad herauszuarbeiten ist. So eröffnen sich andere Perspektiven und Anordnungen in der Umweltepigenetik: nicht bloß Interaktionen, sondern Intra-aktionen, die darauf verweisen, dass Differenzsetzungen fragil und situativ sind. Differenzen nicht als immer schon gegeben und unveränderlich zu verstehen, sondern »understanding which differences matter, how they matter, and for whom« (Barad 2007: 90), ist Ziel der vorliegenden Auseinandersetzung. Ich frage, wie umweltepigenetische Forschungsarbeiten in Bezug auf Differenzsetzungen zu beurteilen sind, und

1 Der cartesianische Dualismus bezeichnet die ontologische Separiertheit von Körper und Geist und geht auf René Descartes Philosophie zurück (vgl. Hatfield 2018).

arbeite heraus, dass Differenzen wie Natur/Kultur, Gene/Umwelt oder Tier/Mensch sich auf unterschiedliche Weisen im Feld anordnen. Damit ist eine methodologische Herausforderung verbunden. Barad ist somit zweifach relevant für die Arbeit: Sie hilft mit ihren theoretischen Ausführungen, dem agentiellen Realismus, Differenzsetzungen in der Umweltepigenetik zu analysieren, sowie mit ihrer diffraktiven Methodologie auf methodischer Ebene, dieses Projekt umzusetzen.

Im Eingangszitat wird bereits ein charakteristisches Merkmal der Epigenetik deutlich: das Zusammenspiel von Genen und ihren Umwelten (vgl. Weaver et al. 2004: 852). Erforscht wird hier, wie Umweltfaktoren die Aktivität von Genen beeinflussen und welche Auswirkungen das hat. Als aktiv werden Gene bezeichnet, die abgelesen und in Proteine umgesetzt werden können. Werden Gene inaktiviert, können sie nicht mehr transkribiert werden und es findet keine Genexpression statt. Eine Inaktivierung kann zeitweise oder permanent sein und beeinflusst Erscheinungsformen von und Prozesse in Zellen, wie beispielsweise die Zelldifferenzierung. Untersucht wird in der Epigenetik, was die In/Aktivierung auslöst. In der Umweltepigenetik, einem Teilgebiet, werden mögliche Ursachen für die In/Aktivierung in der Umwelt verortet. Einfluss können zum Beispiel traumatische Erfahrungen und Stress haben. In diesem Fall wird in der körperäußeren Umwelt nach Einflüssen gesucht. Andere Untersuchungen fokussieren auf innerkörperliche Prozesse und beispielsweise die Zellumwelt. Inzwischen wird eine Reihe epigenetischer Mechanismen beschrieben, die mit verschiedenen Umweltfaktoren in Zusammenhang gebracht werden und als die Genaktivität verändernd gelten. DNA-Methylierung, Histonmodifikation und die Rolle der RNA werden hier vornehmlich untersucht (vgl. Gluckman et al. 2007b: 147).

Neben der Frage, wodurch die Genexpression reguliert werden kann, interessieren sich Epigenetiker_innen für die Folgen der In/Aktivierung. Eine Rolle spielt die Genaktivität zum Beispiel im Bereich der Zelldifferenzierung. Dabei geht es darum, wie sich totipotente Zellen etwa zu Nerven-, Nieren- oder Hautzellen differenzieren (vgl. Mitalipov, Wolf 2009), die dann unterschiedliche epigenetische Aktivierungsmuster haben, obwohl sie alle die gleiche genetische Information besitzen. In diesem Fall ist nicht das komplette Genom exprimiert, sondern nur Gene, die für den jeweiligen Zelltyp benötigt werden. Die Inaktivierung von Genen wird zudem als den Phänotyp verändernd beschrieben.² Kann eine Gensequenz nicht abgelesen werden, sind Entwicklungen von Zellen oder Geweben möglich, die mit Erkrankungen in Zusammenhang stehen. Im Teilgebiet der transgenerationalen

2 Der Phänotyp bezeichnet die Erscheinungsform, die als Resultat genetischer Ausstattung gilt: »Ein Phänotyp ist das physische Erscheinungsbild oder ein sonstiges zu beobachtendes Merkmal eines Lebewesens, ein Genotyp die genetische Konstitution des Lebewesens.« (Sadda et al. 2019: 379).

Epigenetik wird zudem erforscht, ob Erkrankungen auch in den nächsten Generationen auftreten, auch wenn die Nachkomm_innen den auslösenden Umwelteinflüssen gar nicht mehr ausgesetzt sind. Die allermeisten Studien erforschen dies mit Hilfe von Tierexperimenten, einige wenige Epigenetiker_innen auch anhand von Daten über Menschen. Epigenetik beschreibt also einen naturwissenschaftlichen Bereich, der sich nicht nur mit körperinneren, biologischen, biochemischen und -medizinischen Prozessen auseinandersetzt, sondern auch mit dem Zusammenspiel von Körperäußerem und Umwelten, von verschiedenen Generationen, menschlichen Organismen und nicht-menschlichen Elementen und vielem mehr.

Heute ist die Epigenetik mit ihren zellinternen Regulationen, der Untersuchung von Umweltfaktoren und transgenerationellen Effekten ein viel beforschtes und hoffnungsbeladenes Feld, das große Aufmerksamkeit auch jenseits naturwissenschaftlicher Fachkreise genießt. Zahlreiche Autor_innen diskutieren über die Chancen, die Epigenetik zum Beispiel in Form verbesserter Therapiemöglichkeiten für die Biomedizin bereithalten kann, aber auch über problematische Implikationen umweltepigenetischer Forschungen, die komplexe Phänomene wie etwa Traumata in ein Mausexperiment übersetzen und damit stark verkürzen oder die besondere Bedeutung mütterlicher Pflege überbetonen. Vor allem jene Öffnungen des Feldes hin zu körperäußeren Umwelten erklärt das Interesse der Geistes- und Sozialwissenschaften sowie feministischer Wissenschaftstheorie an Epigenetik, in der die Trennung von Natur/Kultur entgleitet.

»Studies investigate, for example, how socio-economic status, exercise habits, diet or experiences of trauma might influence biological processes at the molecular level. This has created great interest among social scientists and scholars in the humanities as it raises a number of questions at the intersection of the natural sciences, the social sciences and the humanities: for example, how to conceptualize the social environment in a laboratory context.« (Müller et al. 2017: 1677)

Meine Neugierde hat Epigenetik durch das vielfach formulierte Versprechen geweckt, etwas über den Zusammenhang von Genen/Umwelten, Natur/Kultur oder Körperinnerem/Körperäußerem aussagen zu können. Geht es hier nicht immer vordergründig um Geschlechterbinarität, so sind Differenzen doch stets präsent im Feld. Ausgehend von der Annahme, dass – vor allem binäre – Differenzsetzungen und der Bezug auf ›Natürlichkeit‹ Basis für heteronormative Einteilungen, (Geschlechter-)Ungleichheiten und Diskriminierungen sind, erscheint mir die Beschäftigung mit Umweltepigenetik³ produktiv für die Auseinandersetzung mit

3 Ich wähle diese Bezeichnung aus, um das weite Feld der Epigenetik für meine Analysen einzugrenzen. Zudem beziehe ich mich überwiegend auf Arbeiten, die körperäußere Umwelten untersuchen. Im Englischen wird von »environmental epigenetics« gesprochen, zum Teil auch von »social epigenetics« (vgl. Louvel 2020).

Differenzen. Mich interessiert, in welchen spezifischen Weisen Differenzen, ihre Überschreitungen und Verschränkungen im Feld angelegt sind. Denn Arbeiten aus der Umweltepigenetik zeigen, dass es sich bei Genen/Umwelten, Körperaußen/Körperinnen oder Natur/Kultur nicht um getrennte Entitäten und Gegensätzlichkeiten handeln muss, sondern dies konstruierte Einteilungen sind, die im Feld auch in weiteren als binären Anordnungen vorzufinden sind. Ich begeben mich auf die Suche nach ebenjenen anderen Anordnungen. Dazu werde ich veranschaulichen, dass Umwelten/Gene, Natur/Kultur und vieles mehr in umweltepigenetischen Forschungen immer wieder situativ hervorgebracht sowie gegenübergestellt werden und zugleich verschränkt sind. Genau dieses Spannungsfeld diskutiert die vorliegende Arbeit am Beispiel der Umweltepigenetik, in der Differenzen zu Tage treten *und* sich auflösen. Anhand dieses spezifischen Bereichs stelle ich dar, wie die Bewegung des Differenzierens und Verschränkens mit Barad theoretisiert werden kann und welche Verschiebungen sich dort zeigen.

Feministische Wissenschaftsforscher_innen kritisieren binäre Polarisierungen und zeigen, dass Grenzüberschreitungen zwischen vermeintlich konträren Sphären in der täglichen Arbeit naturwissenschaftlicher Forschung präsent sind. Anders verhält es sich mit der Umweltepigenetik. In umweltepigenetischen Studien wird vordergründig von Dualismen wie männlich und weiblich, Tier und Mensch oder Biologie und Umwelt gesprochen und zugleich zeigen sich Verschränkungen, Unbestimmtheiten und Gleichzeitigkeiten, wenn zum Beispiel Epigenetik als ›Mittlerin‹ und als das ›Dazwischen‹-Geschaltete (vgl. Leuzinger-Bohleber, Fischmann 2014: 74; Schmidt 2014: 259) konzipiert wird. Ich frage daher welche Implikationen es hat, wenn sich binäre Grenzziehungen auflösen und verschieben. Ist hier auch ein anderes als bloß ein binäres Verständnis von Natur/Kultur, Körper/Geist, Genen/Umwelten angelegt, wie es feministische Wissenschaftstheoretiker_innen immer wieder vorgeschlagen haben?

»For example, let us consider the famed and long-enduring debate on nature versus nurture. Recent scholars posit that this is a false binary. The phenotype, or the material body, emerges through the complex actions of nature *and* nurture. It is not as though nature acts through nurture or that nurture nurtures a nascent ›natural‹ organism, rather that organisms are co-constituted and co-produced by nature *and* nurture, genes *and* their environment.« (Subramaniam 2014: 3, H.i.O.)

Um nachzuvollziehen, was Banu Subramaniam vorschlägt, sowie Argumente verschiedener feministischer Positionen zu versammeln und die Implikationen zu diskutieren, die das Nachzeichnen von Differenzen und ihren Verschränkungen und Verschiebungen haben kann, ist Umweltepigenetik ein ertragreicher Forschungsgegenstand.

Die Beschäftigung mit Umweltepigenetik aus Perspektive der Geschlechterforschung ist aus einem weiteren Grund relevant. Denn vielen naturwissenschaft-

lichen Disziplinen wird eine große Bedeutung in der Darstellung von Zweigeschlechtlichkeit als natürlich zugeschrieben: »In the West, biological explanations appear to be especially privileged over other ways of explaining differences of gender, race, or class« (Oyèwùmí 2005: 3).⁴ Vor allem die feministische Wissenschaftsforschung arbeitet die Naturalisierungen von Geschlechterdifferenzen in Naturwissenschaften und den damit verbundenen deterministischen Zuschreibungen sowie Diskriminierungen heraus. Somit nimmt die Umweltepigenetik in dieser Arbeit die Funktion eines Modells ein, an dem Differenzsetzungen und Grenzüberschreitungen untersucht werden.

Die vorliegende Untersuchung beschäftigt sich also mit Differenzsetzungen und diskutiert diese anhand umweltepigenetischer Studien. Wissenssoziologische Arbeiten untersuchen die Wissensproduktion in Naturwissenschaften beispielsweise durch teilnehmende Beobachtungen (vgl. Latour 2002) oder Laborethnografien (vgl. Knorr-Cetina 1995). Ich veranschauliche anhand von Studien, die als wissenschaftliche Paper in Fachzeitschriften erschienen sind, wie biomedizinisches Wissen produziert wird und dabei Differenzsetzungen gemacht und auch wieder überschritten werden. Durch die Analysen von Studien wird eindrücklich, wie umweltepigenetische Forschungen ablaufen, welche Vorgehensweisen etabliert sind und welche Mechanismen wie untersucht werden. Hierbei besteht die methodische Herausforderung, das Teilen in und das Auflösen von Differenzen so zu konzeptualisieren, dass sie in den Textanalysen greifbar gemacht werden können.

Dabei hilft Barad mit ihren Ausführungen zu Differenzsetzungen und ihrer diffraktiven Methodologie. In ihren Auseinandersetzungen mit Differenzen bezieht sich Barad auf das physikalische Phänomen der Diffraktion. Diffraktionsmuster beschreiben das Überlagern von Wellen und entstehen zum Beispiel, wenn man einen Stein ins Wasser wirft. Diffraktion bezeichnet das Verhalten von Wasser, aber auch von Schall- oder Lichtwellen, die anders als Teilchen an einem spezifischen Punkt überlappen können und sich überlagern. Das berühmte Doppelspaltexperiment zeigte, dass aber beispielsweise auch Elektronen Diffraktionsmuster hinterlassen können (vgl. Barad 2007: 97 ff). Ich wähle Barads Arbeiten aus, da Barad eine Erklärungsweise entwickelt, wie Differenzen entstehen und wirken. Bezugnehmend auf die quantenphysikalische Kontroverse darüber, ob der Messapparat das Beobachtungsobjekt – hier die Wellen und Teilchen – beeinflusst oder nicht, und auch beziehend auf Donna Haraways Ausführungen zu Diffraktion (vgl. Haraway 2017 [Orig. 1992]), betont Barad die Verknüpfung zweier Ebenen: Sie begreift Diffraktion nicht nur auf epistemologischer Ebene, sondern zugleich als konstitutiv für jede Materialisierung und somit auch als ontologisch.

4 Das ist ein wichtiger Hinweis, denn ich beschränke mich zu einem überwiegenden Teil auf Texte und Debatten, über die mir ausschließlich bekannt ist, dass sie im europäischen und nordamerikanischen Raum geführt werden.

Barad erarbeitet neue Perspektiven auf tradierte Dualismen und unterschiedliches Analysewerkzeug, um ihr Zustandekommen zu verstehen:

»the point is that the very practices of differentiating the ›human‹ from the ›non-human‹, the ›animate‹ from the ›inanimate‹, and the ›cultural‹ from the ›natural‹ produce crucial materializing effects that are unaccounted for by starting an analysis after these boundaries are in place.« (Barad 2012a: 31, H.i.O.)

Charakteristisch sind ihre Neukonzeptionen von Begriffen wie Materie, Agency oder Intra-aktionen, die sie unter Einsatz verschiedener (inter-)disziplinärer Strömungen und Theorien – zum Beispiel Quantenphysik, feministische Wissenschaftstheorie, Poststrukturalismus sowie de- und postkoloniale Arbeiten – entwickelt. Mit Barad kann ich untersuchen, welche Verschränkungen in der Umweltepigenetik vorhanden sind und was daraus ableitbar ist für die Bedeutung von Differenzen. Dafür muss der Herausforderung begegnet werden, Intra-aktionen und Verschränkungen ausfindig machen zu können: »this requires a methodology that is attentive to, and responsive/responsible to, the specificity of material entanglements in their agential becoming.« (Barad 2007: 91)

Für die vorliegende Untersuchung sind zwei Ebenen zentral: erstens die feministisch-materialistische Beschäftigung mit Studien aus der Umweltepigenetik und zweitens die methodische Erprobung diffraktiver Methodologie, für die es bisher wenig Anleitung gibt. Es gibt einige Texte, die sich speziell auf Barads diffraktive Methodologie beziehen und diese in ganz unterschiedlichen (inter)disziplinären Bereichen anwenden (vgl. z.B. Mauthner 2016; Scholz 2018; Kronberger, Krall 2021). Weder bei Barad noch in den Texten, die sich auf sie beziehen, ist eine Anleitung für diffraktives Lesen zu finden. Diffraktives Lesen kann nicht einem festen Schema folgen, da jeder diffraktive Apparat unterschiedlich ist. Dem kurzen Überblick über den Aufbau der Arbeit folgt die Erläuterung, auf welche Debatten ich mich in der Entwicklung meines diffraktiven Apparats beziehe und welche Theorien und Texte ich durch einander hindurch lese, um neue Anordnungen in der Umweltepigenetik ausfindig zu machen.

Im ersten Teil der Arbeit geht es darum, dass Feld der Umweltepigenetik in Hinblick auf die dort untersuchten Interaktionen und die damit verbundenen Differenzsetzungen einzuschätzen. Nach Beschäftigung mit Literatur aus (2. Kapitel) und über Epigenetik (3. Kapitel) sowie einer ersten empirischen Beschäftigung mit umweltepigenetischen Studien (4. Kapitel) wird am Ende des ersten Teils deutlich (5. Kapitel), dass jenes heterogene Feld nicht eindeutig zu bewerten ist, sondern vielmehr durch eine ambivalente Gleichzeitigkeit von Differenzsetzungen und -überschreitungen geprägt wird. Das weist darauf hin, dass verschiedenartige Anordnungen und nicht nur binäre Einteilungen wie im Konzept der Interaktion vorzufinden sind. Im zweiten Teil der Arbeit geht es dann darum, andere Anordnungen aufzuspüren. Dabei helfen Barads theoretische wie methodologische

Ausführungen (6. Kapitel), die es ermöglichen, meinen ›diffraktiven Apparat‹ (vgl. Barad 2007) zu entwickeln (7. Kapitel). In diesen fließen die Ergebnisse meiner Beschäftigung mit Umweltepigenetik hinein und ermöglichen entlang von Barads agentiellem Realismus ein diffraktives Lesen weiterer umweltepigenetischer Studien (8. Kapitel). Das diffraktive Lesen befähigt mich, neuartige Anordnungen aus Studien systematisch herauszuarbeiten, und führt schließlich dazu, dass ich drei neue ›Figurationen‹ (vgl. Thiele 2020) aus der Umweltepigenetik heraus entwickeln und erzählen kann (9. Kapitel), die abseits binärer Differenzsetzungen und heteronormativer, anthropozentrischer Einteilungen existieren.

1.1 Theoretische Bezüge und interdisziplinäre Verortung der Arbeit

Auf diese Weise aufgestellt, berührt meine Untersuchung unterschiedliche Diskurse und Disziplinen. Zunächst einmal ist sie im heterogenen und interdisziplinären Feld der Geschlechterforschung verortet. Eines der Grundmotive dieses Feldes ist die Suche nach Erklärungen dafür, warum Zweigeschlechtlichkeit so dauerhaft und verbreitet als einzig wahre geschlechtliche Einteilung von Lebewesen gilt. Hier liegt eine Basis für Ungleichheiten, Ausschlüsse und Gewalt, durch die die Befassung mit Differenzen relevant wird. Zur Auseinandersetzung damit gehören zum Beispiel die gewaltvollen Implikationen binärer Unterscheidungen wie weiblich/männlich, hetero-/homosexuell oder cis/trans. Dass diese Unterteilungen unhinterfragt Geltung genießen, ist unter anderem auf die Wirkmacht binärer Gegenüberstellungen zurückzuführen. Das ist besonders dann der Fall, wenn sie für naturgegeben und universal gehalten werden und somit eine Grundlage für deterministische Ableitungen bilden. Daher setzen sich Geschlechterforscher_innen auf unterschiedliche Arten mit der Frage auseinander, welche Rolle Differenzen für heteronormative Geschlechterordnungen spielen, allen voran der Dualismus Natur/Kultur, der auch Basis für naturalistische Geschlechterkonzepte ist.

»Die Geschlechterdifferenz ist [...] eine zentrale Grenzvorstellung, über die sich unsere Verletzbarkeit und Ausgesetztheit gegenüber Machtrelationen unter anderem durch die Verhandlung prekärer Grenzziehungen, wie Kultur/Natur, Sprache/Materialität, Psyche/Soma, gesund/krank, Körper/Prothese, Autonomie/Abhängigkeit und dergleichen in schwankenden Überlappungen entfaltet und reguliert.« (Bath et al. 2013: 20)

Die Beschäftigung mit Differenzen kennzeichnet viele feministische Debatten.⁵ Es wird beispielsweise diskutiert, ob Differenzen notwendigerweise auf Hierarchisie-

5 Selbstverständlich sind Differenzen auch Bestandteil anderer Diskurse, zum Beispiel in Philosophie oder Postcolonial und Black Studies (vgl. z.B. da Silva 2016).

rungen beruhen. Aufgrund überwiegend kritischer Haltungen gegenüber binären Einteilungen und den problematischen Folgen des Hierarchisierens könnte man erwarten, dass es vielfach darum geht, gegen Differenzen zu argumentieren. Audre Lorde hingegen forderte dazu auf, multiple Unterschiede zu erkennen und zu artikulieren, ohne sie mit Überlegenheiten der einen über die anderen zu verbinden. Lorde formulierte: »Weite Teile der westlich-europäischen Geschichte lehrten uns, menschliche Unterschiede gegeneinander aufzuwiegen: dominant/subaltern, gut/schlecht, oben/unten, überlegen/unterlegen.« (Lorde 1984: 110) Sie thematisierte Konflikte innerhalb feministischer Theorien und Politiken, betonte aber die Notwendigkeit, Verschiedenheit gegenseitig anzuerkennen (vgl. ebd.: 111).⁶ Was Lorde in den 1980er Jahren diskutierte, zielte auf die weiterhin brisante Frage nach dem Verhältnis von Gleichheit und Differenz: »The theoretico-political tension between claims of equality and difference still troubles feminist discussions and thus needs to be addressed by contemporary research.« (Thiele 2014: 9) Weiterhin wird beispielsweise gefragt, ob Differenzen überwunden werden müssen, um mehr Gleichberechtigung zu erfahren, oder die Anerkennung von Differenzen gar nicht zwangsläufig zu Ungleichheiten führt (vgl. Maihofer 2001)? Kathrin Thiele formuliert das Paradox aus:

»In its most basic outline, the paradox here is that feminism's major claim for (sexual) difference(s) is, on the one hand, a rejection of determinist and essentialist understandings of sex/gender and a demand for equality and equal access, yet this demand can, on the other hand, only ever be brought about by emphasizing precisely the specificity of (sexual) difference(s).« (Thiele 2014: 10)

1.1.1 Feministische Wissenschaftstheorie

Ich richte meine Beschäftigung mit Differenzen vor allem auf Naturwissenschaften und knüpfe damit an Arbeiten der feministischen Wissenschaftstheorie an.⁷ Als

6 Lorde sprach in ihrem Text unter anderem den Unmut vieler Schwarzer Feminist_innen darüber an, dass Frauenbewegungen oftmals für ein sehr begrenztes Subjekt ›Frau‹ eintreten und dabei nur weiße und bürgerliche Lebensweisen mitdenken. Damit ist eine unzulässige Gleichmachung verbunden, die Menschen homogenisiert und viele Perspektiven ausschließt und ignoriert. »Es sind nicht unsere Unterschiede, die uns Frauen* voneinander trennen, sondern unser Widerstreben, diese Unterschiede zu erkennen und angesichts der aus Ignoranz und Missverständnis gespeisten Fehldarstellungen der Unterschiede einen wirksamen Umgang damit zu finden.« (Lorde 1984: 120, H.i.O.)

7 Für dieses facettenreiche Feld gibt es verschiedene Bezeichnungen, zum Beispiel ›feministische Naturwissenschaftsforschung oder -kritik‹. Auch der englische Name ›Feminist Science (and Technology) Studies‹ ist verbreitet. Ich verwende den Ausdruck ›feministische Wissenschaftstheorie‹.

Geschlechterforscherin halte ich die Auseinandersetzung mit Naturwissenschaften für sehr relevant, weil dort spezifische Vorstellungen von Zweigeschlechtlichkeit legitimiert und aufgrund ihrer Deutungs- und Geltungsmacht Heteronormativitäten manifestiert werden. Über feministische Wissenschaftstheorie schreiben Deboleena Roy und Banu Subramaniam:

»These scholars systematically analyzed how the scientific enterprise through experiments, and anatomical, physiological, and behavioral studies came to understand ›difference‹ as being located and originating in the material body. Central to their claims is that scientific institutions have translated political and cultural privilege into biological privilege.« (Roy, Subramaniam 2016: 24, H.i.O.)

Feministische Wissenschaftstheoretiker_innen weisen nach, dass naturalistische Vorstellungen von Zweigeschlechtlichkeit mit dem Dualismus Natur/Kultur in Zusammenhang stehen, da der Naturbegriff als Gegenstück zu Kultur konstituiert ist (vgl. Harding 1991). Viele Arbeiten setzen sich mit der Zuschreibung von aufgrund des biologischen Geschlechts als natürlich beschriebenen Merkmalen auseinander. Dahinter steht die grundlegende Kritik an der Vorstellung biologischen Geschlechts gemäß der Unterteilung in entweder männlich oder weiblich als einzig wahre und feststehende, die anhand körperlicher Attribute vorgenommen wird und ebenfalls als Grundlage für soziale Unterschiede gilt. Kritisiert wird der Bezug auf spezifische geschlechtliche Phänomene als natürlich und ursprünglich, unveränderbar und ›normal‹.⁸ Dies führt dazu, dass nur ein bestimmtes, nämlich ein binäres und heterosexuelles Geschlechtermodell als Norm gilt. Auf Basis von Naturalisierung und der Differenzsetzung von Natur/Kultur werden reduktionistische und deterministische Schlüsse gezogen, die Heteronormativität als Erklärung immer wieder privilegieren und legitimieren.

Inzwischen werden in naturwissenschaftlicher Forschung biologische Unterschiede zwar nicht mehr explizit als Erklärung und Rechtfertigung für soziale Ungleichheiten herangezogen, doch wird nach wie vor von naturgegebenen Geschlechterunterschieden ausgegangen. Zum Beispiel erfolgen durch neurowissenschaftliche Studien, die Geschlechterdifferenzen (unter-)suchen, deterministische Zuschreibungen von vermeintlich natürlichen Grundlagen im Gehirn als verschiedene Fähigkeiten bei Frauen und Männern (vgl. Schmitz 2010), die dann als

8 Mit der Bezeichnung ›normal‹ findet eine starke Wertung spezifischer Merkmale, Zustände oder Eigenschaften als üblich und natürlich und eine Abwertung aller anderen als abweichend statt. Welchen gewaltvollen Effekt diese Bezeichnung hat und inwiefern es sich dabei um eine soziale Konstruktion handelt, wird seit langem beispielsweise in der Queer Theory diskutiert. Die damit verbundenen komplexen Prozesse wie Normierungen, Hierarchisierungen und Diskriminierungen diskutieren zum Beispiel Sabine Hark (1999) und Antke Engel (2002) in Bezug auf Michel Foucault und Judith Butler.

universell gelten. Ihre Ergebnisse entsprechen oftmals Geschlechterstereotypen, wenn sie zum Beispiel Annahmen einer sprachlichen Überlegenheit aller Frauen oder einer besseren mathematischen Befähigung jedes Mannes reproduzieren. Werden diese geschlechtsspezifischen Begabungen als naturgegeben aufgefasst, kann in der Konsequenz auch die Verteilung der Geschlechter auf verschiedene Berufs- und damit einhergehend auch Gehaltsgruppen als Folge und Bestätigung der natürlichen Unterschiede gedeutet werden, anstatt als Resultat komplexer Strukturen und Prozesse. Das dient der Aufrechterhaltung zweigeschlechtlicher Rollenbilder auf Basis vermeintlich biologischer Tatsachen und trägt dazu bei, dass die immer noch ungleiche Verteilung der Geschlechter auf Berufs- und Gehaltsgruppen legitimiert wird (vgl. Fausto-Sterling 2003: 124). Zu sehen ist, dass in Forschung weiterhin binäre Geschlechterkonzepte vorausgesetzt, deterministisch auf natürliche Gegebenheiten zurückgeführt und damit wieder als allgemeingültig legitimiert werden.

Körpern kommt hierbei eine wichtige Rolle zu: In den Naturwissenschaften werden geschlechtliche Merkmale und Unterschiede identifiziert, die – da der Körper als natürlich gilt – dem biologischen Beweis für Zweigeschlechtlichkeit dienen. Aus diesem Grund halten viele feministische Wissenschaftstheoretiker_innen es für notwendig, den Bezug von Geschlecht auf Körper zu thematisieren und ihre geschlechtlichen Zuschreibungen zu analysieren:⁹

»feminist scholars of science continued to build an engaged and robust critique (often done by feminist biologists with intimate knowledge of their disciplines) of the accounts of the body produced by the biological sciences, particularly aimed at countering the pervasive claims of biological determinism in fields such as genetics, neuroscience, and endocrinology.« (Roy, Subramaniam 2016: 25)

Dabei stellt sich die Frage, wie Körper theoretisch behandelt werden können, ohne sie erneut als naturgegeben zu essentialisieren und den Dualismus von Natur und Kultur zu reproduzieren.¹⁰

Viele Autor_innen der feministischen Wissenschaftstheorie haben einen naturwissenschaftlichen Hintergrund und einige Wissenschaftler_innen bringen die erwähnten Diskussionspunkte in die Naturwissenschaften zurück. Die Biologin Lynda Birke fordert ein, die Herangehensweisen in Naturwissenschaften zu modifizieren, da zwischen Umwelt und Körpern Interaktionen stattfinden. Daher sei es

9 Das gilt auch für Körpersoziolog_innen, die sich mit ähnlichen Herausforderungen beschäftigen, wie ich in 1.1.2 noch darstelle.

10 Diese Frage wird beispielsweise in Arbeiten beantwortet, die sich mit dem »Embodiment«-Konzept auseinandersetzen und Körper als gleichzeitig kulturell und natürlich begreifen (vgl. Fausto-Sterling 2003: 129; Schmitz, Degele 2010). Zur körpersoziologischen Auseinandersetzung mit diesem Konzept siehe zum Beispiel Kate Cregan (2006).

unumgänglich, biologische Prozesse als Teil sozialer Welt zu begreifen (vgl. Birke 2003: 49). Anne Fausto-Sterling illustriert anhand der Beispiel Knochenwuchs und Osteoporose, dass körperäußere und körperinnere Aspekte zusammenwirken und nicht getrennt betrachtet werden sollten, um die Entwicklung und Erkrankung von Knochen zu verstehen. Dass Osteoporose vermehrt bei Frauen auftritt, gälte innerhalb biologischer Wissenschaften als zentraler Beweis für biologische Geschlechterunterschiede (vgl. Fausto-Sterling 2005: 1498).¹¹ Doch sind Knochen nicht nur von körperlichen Prozessen beeinflusst, sondern auch von Verhaltensweisen oder Lebensbedingungen. Würden diese Aspekte berücksichtigt, wäre erkennbar, dass es sich hier nicht ausschließlich um biologische Unterschiede handelt, sondern vieles auf die Knochen einwirkt, so die feministische Wissenschaftstheoretikerin und Biologin Fausto-Sterling.

Einen weiteren Bezug in dieser Arbeit bieten feministisch-materialistische Diskurse, in denen sich ebenfalls einige feministische Wissenschaftstheoretiker_innen bewegen. Ich liste Geschlechterforschung, feministische Wissenschaftstheorie und feministisch-materialistische Ansätze hier separat auf, um die Bezugspunkte meiner Untersuchung zu benennen. Die Grenzen zwischen diesen verlaufen jedoch nicht trennscharf und es gibt inhaltliche und personelle Überschneidungen, aber auch Divergenzen, wie Roy und Subramaniam formulieren:

»some scholars have noted several common approaches or tendencies in feminist engagements with biology and science and have in turn launched a critique of the feminist critiques of science through the new feminist materialism, material feminisms, neo-materialism, or the new sciences.« (Roy, Subramaniam 2016: 25)¹²

Auf drei Hauptkritikpunkte beziehen Roy und Subramaniam ihre Beobachtungen: den Ausschluss von Naturwissenschaften in feministischen Theorien, den Fokus feministischer poststrukturalistischer Theorien auf Text, Sprache und Diskurse sowie die mit diesen beiden Aspekten verbundene Gefahr, den Dualismus von Natur/Kultur zu reproduzieren. Sie sprechen sich für neumaterialistische Ansätze aus,

11 Londa Schiebinger et al. räumen mit diesem Trugschluss auf und weisen darauf hin, dass 30 % der an Osteoporose Erkrankten als männlich bezeichnete Personen sind (vgl. Schiebinger et al. 2011). Gemeinsam mit Sigrid Schmitz habe ich mich in unserem Artikel *Potenziale epigenetischer Forschung für das Konzept ›sex vs. gender‹* mit diesem Diskurs beschäftigt (vgl. Krall, Schmitz 2016: 101) und diesen auch in Krall (2018) exemplarisch angeführt.

12 Lehrreich könnte auch die Betrachtung dessen sein, wie unterschiedlich feministische Wissenschaftstheorie und feministisch-materialistische Ansätze auf Fragen nach Differenzen und Verschränkungen am Beispiel von Umweltepigenetik antworten könnten. Es wird hier aber nicht weiter um das Verhältnis der Felder oder die divergierenden Ansichten in Bezug auf meine Untersuchung gehen, beide spielen eine Rolle.

weil sie Naturwissenschaften verstärkt mit einbeziehen.¹³ Meine Arbeit folgt diesem Hinweis und setzt die Beschäftigung mit Umweltepigenetik entlang der ebenfalls dem Neuen Materialismus zugeschriebenen Theorie Barads produktiv ein.

1.1.2 Feministisch (neu-)materialistische Debatten

Barads Arbeiten werden nicht nur der feministischen Wissenschaftstheorie zugeordnet, sondern auch dem »Neuen Materialismus«.¹⁴ Dieser versammelt die Arbeiten sehr unterschiedlicher Autor_innen mit verschiedenartigen Hintergründen und Forschungsschwerpunkten, denen ein neuer kritischer Bezug zu Differenzen gemein ist.¹⁵ Daher wird auch häufig im Plural »Materialismen« geschrieben (vgl. Gregor et al. 2018: 6). In der Rekonzeptualisierung dessen, was unter Natur und was unter Materie zu begreifen ist, beschäftigen sich viele Arbeiten mit der Dekonstruktion von Natur/Kultur- und Materie/Geist-Unterscheidungen und nehmen Anthropozentrismus-kritische und posthumanistische Perspektiven ein (vgl. z.B. Barad 2007; Braidotti 2014, 2016). Nach Corinna Bath et al. sind die »feministischen Ansätze des sogenannten Neomaterialismus [...] als Unruhestifter_innen zu verstehen, die ethische, ontologische und epistemologische Übereinkünfte irritieren und unterlaufen.« (Bath et al. 2017: 12) Bath et al. charakterisieren das Anliegen dieser Ansätze weiter:

»Es geht dabei nicht darum, mit der Materie eine_n Akteur_in erneut ins Spiel zu bringen, der_die zuletzt vernachlässigt wurde – so wenig wie der Feminismus

13 Die beiden Autorinnen finden bisherige Bemühungen dahingehend jedoch noch zu zurückhaltend (vgl. Roy, Subramaniam 2016: 34). Sie formulieren weitere Kritikpunkte an neuen Materialismen und machen die Verschmelzung und Betrachtung unterschiedlicher Perspektiven stark: »The project we are interested in pursuing is one that can benefit from making connections between earlier feminist critiques of science, new materialisms, and postcolonial STS.« (ebd.: 28)

14 Wie auch die Bezeichnung »turn«, zum Beispiel für den in der Soziologie diagnostizierten »material turn«, kann das Label »Neuer Materialismus« suggerieren, dass hier völlig neuartige Perspektiven eingenommen und ganz neue Erkenntnisse gewonnen werden. Ohne in die Kontroverse darüber einzusteigen (vgl. z.B. Ahmed 2008; van der Tuin 2008), sei hier angemerkt, dass ich Victoria Pitts-Taylor's Annahme folge: »The new is best understood to signal not a wholly novel moment for feminism or social theory, but rather a fresh version of the physical and biological world« (Pitts-Taylor 2016: 5). Ich wähle im Folgenden die Bezeichnung »feministisch-materialistisch«, da dies den Kern der Arbeiten, auf die ich mich beziehe, präziser beschreibt. Wenn ich die Bezeichnungen »Neuer Materialismus« oder »neo-materialistisch« verwende, dann beziehe ich mich auf Autor_innen, die selbst jene Formulierungen wählen.

15 Für einen Überblick siehe zum Beispiel *Neue Materialismen zur Einführung* (Hoppe, Lemke 2021).

lediglich davon handelt, die ›Frauen‹ als Akteurinnen zu etablieren –, sondern darum, unser praktisch-materielles Involviertsein in das Werden der Welt selbst zur Grundlage von Wissenschaftlichkeit zu machen.« (Bath et al. 2017: 12, 13 H.i.O.)

Während es in vielen Arbeiten feministischer Wissenschaftstheoretiker_innen darum geht, einen unhinterfragten Bezug zu Natur und Biologie als Referenz für Wahrheit, Essentielles und Unveränderliches zu durchbrechen, geht es in feministisch-materialistischen Projekten oftmals um ein Umdeuten von Materie und das Überschreiben von Grenzziehungen wie Natur/Kultur, Körper/Geist oder menschlich/nicht-menschlich. Das hat Konsequenzen für Ansätze, die in disziplinären Grenzen verhaftet bleiben und einem menschlichen Exzeptionalismus Treue leisten. All diese Differenzsetzungen zu hinterfragen, in ihrem Werden und somit in einer umfassenden Relationalität zu verstehen, kann zudem ermöglichen, sie zu verschieben. Es geht sowohl in diesen Debatten als auch in meiner Arbeit darum, zu untersuchen, »wo Grenzziehungen unbestimmt/unbestimmbar werden und Anderes/Neues erscheint.« (Bath et al. 2013: 9)

Durch den Einbezug von Körpern und die Diskussion weiterer Begrifflichkeiten wie Materialität oder Leib beschäftigen sich auch körpersoziologische Arbeiten mit den genannten Differenzsetzungen.¹⁶ Körper sind bisher keine selbstverständliche Kategorie in der Soziologie, doch arbeiten zahlreiche Autor_innen die Relevanz von Körpern für soziale Interaktionen, gesellschaftliche Strukturen und Prozesse heraus. Die Aufrechterhaltung und auch Veränderung sozialer Ordnungen kann beispielsweise untersucht werden, wenn die Internalisierung dieser Ordnungen als körperlicher Prozess¹⁷ begriffen wird (vgl. Villa 2008: 204). Körper sind hier aber nicht nur als Träger von Wissen verstanden, der dieses weitergeben kann, sondern auch als »materiale Produkte bestimmter kognitiv-mentalistischer und manifest wirksamer Wissensordnungen.« (Stadelbacher 2016: 11)

Diane Coole sieht im neuen Materialismus eine »zeitgemäße Antwort« auf die Entwicklung, »dass Menschen immer stärker in materielle Systeme und Objekte eingebunden sind« und »schon immer in irreduzible menschlich/nicht-menschliche Systeme gebunden« (Coole 2014: 33) waren. Diesen Verbindungen würden neu-materialistische Ansätze umfassend nachgehen. Das impliziert, den klassischen disziplinären Gegenstandsbereich auszuweiten, was einige Autor_innen auch betreiben: »In den letzten zwei Jahrzehnten ist in den Kultur- und Sozialwissenschaften eine bemerkenswerte Neuorientierung und Akzentverschiebung zu beobach-

16 Michael Meuser erklärt, dass vor allem feministische Theorien und Diskurse der Postmoderne die mannigfache Bedeutung von Körpern in der Soziologie gestärkt haben (vgl. Meuser 2010: 128).

17 Pierre Bourdieu prägte in diesem Zusammenhang den Begriff der ›Inkorporierung‹ (vgl. Bourdieu 2005). Zum Verhältnis von Bourdieus (Praxis-)Theorie zu Geschlechterforschung sowie spezifisch zu Barads agentiellem Realismus siehe Völker (2019b).

ten: Materie, Objekte und Artefakte werden neu konzeptualisiert.« (Hoppe, Lemke 2021: 9, 10)

Prominenter Vertreter jener Verschiebungen ist Bruno Latour. Latours Forderung, Soziologie neu zu definieren, beruht vor allem auf dem Erfordernis, »Soziales« nicht mehr bloß als menschlich zu denken (vgl. Latour 2019). In seinem Entwurf alternativer Sozialtheorie schlägt er daher vor, die Arbeit des Verknüpfens und Versammelns neu aufzusuchen und dabei auch nicht-menschliche Wesen einzubeziehen (vgl. ebd.: 22). Auch Thomas Lemke problematisiert den Ausschluss des Nicht-Menschlichen, der Materie und der Natur aus der Soziologie. Er plädiert für eine »anthropologische, ontologische und wissenschaftstheoretische Neuorientierung der Soziologie.« (Lemke 2013: 14) Soziologie, die nicht länger nur Menschliches berücksichtige, könne zu tieferen und weitergehenden Analysen beitragen und die »Ko-Produktion von Gesellschaft und Natur, biowissenschaftlichem Wissen und gesellschaftlichen Verhältnissen« (ebd.: 16) untersuchen.

So wie sich naturwissenschaftliche Felder vermehrt für den Einfluss körperäußerer, sozialer oder gesellschaftlicher Faktoren interessieren, muss sich also auch sozialwissenschaftliche Forschung erweitern. Denn zum einen ist »das Soziale« kein fester Bezugsrahmen (vgl. Latour 2019: 28) und nicht trennbar von biologischen Prozessen und materiellen Umwelten. Außerdem sollten sozialwissenschaftliche Forschungsinteressen ausgedehnt werden, weil es eine aufmerksame Begleitung der naturwissenschaftlichen Felder bedarf. Denn diese verschieben ihre Aufgabengebiete und genießen mit biowissenschaftlichen Erklärungen sozialer und gesellschaftlicher Phänomene große Aufmerksamkeit. »Die Soziologie muss also zugleich *für* eine theoretische und inhaltliche Öffnung hin zu den Naturwissenschaften und *gegen* aktuelle Tendenzen der Naturalisierung des Sozialen kämpfen, die in Gehirn und Genom den Schlüssel individueller und kollektiver Probleme sehen« (Lemke 2013: 13, H.i.O.).

Beide Argumente sind auch für die Auseinandersetzung mit Umweltepigenetik relevant. Immer wieder stellt sich die Frage, wie ein Gegenstandsbereich geöffnet werden kann, und was das für feministische und sozialwissenschaftliche Forschungspraxis bedeutet. Coole wägt ab:

»Insofern ihre Aufgabe eine empirische ist – nämlich diejenige, die dichten Netzwerke aufzuspüren, welche Assemblagen produzieren, und sie während ihres kurzen Erscheinens einzufangen –, verurteilt uns das Detail, dessen es bedarf, um alle diese mannigfachen Beziehungen zu berücksichtigen, nicht vielleicht zu kleinteiligen anthropologischen Studien ohne weitreichende Konsequenzen? Andererseits scheint die Einsicht, dass jede Entität eine Biografie hat, die ihre mikroskopischen Komponenten mit weit entfernten kosmologischen Kräften verbindet, plausible sozialwissenschaftliche Forschung ohne umfassende Kooperation zu überfordern.« (Coole 2014: 33)

Während Coole Unsicherheiten darüber äußert, wie eine Forschungspraxis nun aussehen kann, geht sie davon aus, in neumaterialistischen Ansätzen und mit dem »materialist turn« (ebd.: 34) die passende Antwort darauf zu finden.

Wie neuer Materialismus und Soziologie zusammengebracht und dies konkret methodisch umgesetzt werden kann, diskutiert der Sammelband von Ulrike Tikvah und Joost van Loon (2019), die hierzu weitere Auseinandersetzungen fordern. Susanne Völker argumentiert, dass soziologische Forschungen ohne die Berücksichtigung nicht-menschlicher Einflüsse unzureichend sind. In ihrem Beitrag im oben genannten Sammelband schlägt sie mit Bezug auf Barad eine »agential-(more)-realistic methodology« (Völker 2019a: 104) für die Soziologie vor, welche von Unbestimmtheiten ausgeht, eine ethische Perspektive einnimmt, die untrennbar mit dem Werden der (sozialen) Welt verbunden ist, und Praxis als nicht/menschlich begreift (vgl. ebd.: 104, 105).

Die Beteiligung menschlicher wie nicht-menschlicher Agency¹⁸ an Forschungspraxen herauszuarbeiten, ist in Disziplingrenzen verbleibend nicht möglich. Auch ich antworte auf Fragen nach der methodischen Umsetzung, wie sie von Coole aufgeworfen werden, mit starkem Bezug auf Barads Arbeiten und verbinde damit Diskussionen über Methodiken aus unterschiedlichen Bereichen: Geschlechterforschung, feministische Wissenschaftstheorie, Neuer Materialismus, Sozialwissenschaften, Wissens- und Körpersoziologie. Die vorliegende Arbeit ist somit interdisziplinär aufgestellt und versteht Interdisziplinarität im Sinne eines Verschränkens diverser disziplinärer Bereiche. Umweltepigenetik mit einer Autor_in zu betrachten, die selbst Quantenphysiker_in ist, bringt zudem verschiedene naturwissenschaftliche Felder in diese Arbeit. (Natur-)Wissenschaften sind auch Gegenstand wissenssoziologischer Forschungen. Schließlich gelten Wissensproduktionen als soziale Prozesse (vgl. Knorr-Cetina 2016 [Orig. 1984]; Latour, Woolgar 1986) und Erkenntnis und Gesellschaft als untrennbar verbunden. Meine Untersuchung ist keine wissenssoziologische Betrachtung umweltepigenetischer Studien. Sie ist mit ihren interdisziplinären Bezügen und dem Fokus auf Barads agentiellen Realismus in den verschiedenen Ebenen der Ontologie und Epistemologie sowie den unterschiedlichen Disziplinen, die sie einbezieht, spezifisch.

Da auch Epigenetik auf zwei Ebenen verstanden werden kann, bietet der agentielle Realismus eine treffliche Perspektive. Einerseits sind mit Epigenetik das

18 Barad spricht von »agency« (s. 6.7.), Latour von Akteuren. Auch Haraway nutzt diesen Ausdruck und spricht von »materiell-semiotischen Akteuren«: »Mit diesem unhandlichen Begriff ist beabsichtigt, das Wissenobjekt als aktive, Bedeutung generierende Axis des Apparats körperlicher Produktion zu beleuchten, ohne jedoch *jemals* die unmittelbare Präsenz solcher Objekte zu unterstellen oder, was auf dasselbe hinausliefe, eine von diesen ausgehende, endgültige oder eindeutige Determinierung dessen, was zu einem bestimmten historischen Zeitpunkt als objektives Wissen gelten kann.« (Haraway 1995d: 96, H.i.O.)

biomedizinische Forschungsfeld und eine naturwissenschaftliche Subdisziplin gemeint (Epistemologie), andererseits steht der Begriff für molekularbiologische Prozesse wie epigenetische Mechanismen oder Modifikationen (Ontologie). Epigenetik kann also beides sein. Daher schlage ich vor, sie mit Barad als ›Onto-Epistemologie‹ zu verstehen, was auf die Untrennbarkeit beider Ebenen hinweist (vgl. Barad 2007). In der Analyse von Differenzen in Bezug auf Umweltepigenetik geht es mir um das Überschreiten und Verschieben von Grenzziehungen wie Natur/Kultur, Epistemologie/Ontologie und auch zwischen Disziplinen. Somit sind Barads Konzepte mit den ebenfalls sehr interdisziplinären Bezügen und ihrer diffraktiven Methodologie, in dem es um das Durch-einander-hindurch-Lesen unterschiedlicher Denkweisen und -traditionen geht, äußerst hilfreich. Die zwei Ebenen meiner Arbeit – die feministisch-materialistische Beschäftigung mit Umweltepigenetik sowie die Erprobung diffraktiver Methodologie – resonieren daher mit den zwei Verstehensweisen von Epigenetik, da beides die Verbindung der Onto-Epistemologie unterstreicht.

»Die Fragen ›unserer‹ Gegenwart können nicht im Rahmen einer noch so umsichtigen erweiterten gesellschaftstheoretischen Apparatur beantwortet werden, sie erfordern zugleich ein Nachgehen der mannigfachen Intra-Aktionen in der untrennbar materiell-diskursiven Welt und ihren vielfältigen Epistem-Onto-logien.« (Bath et al. 2013: 12, H.i.O.)

Es gibt einige wenige körper- und wissenssoziologische Arbeiten, die Neue Materialismen mit Epigenetik inkludieren. Jörg Niewöhner führt diesen Zusammenhang als Beispiel dafür an, dass sich auch Sozialwissenschaftler_innen mit Körper und Materie beschäftigen, führt aber nicht weiter aus, welche Verbindungsmöglichkeiten zur Epigenetik bestehen (vgl. Niewöhner 2015: 219, 231). Lisa Weasel stellt einen etwas deutlicheren Bezug her und versucht, in ihrer Diskussion der Potenziale und Gefahren epigenetischer Forschung, intersektionale Perspektiven mit solchen des Neuen Materialismus zu verbinden (vgl. Weasel 2016). Barads Arbeiten und Epigenetik verbindet bisher allein Noela Davis in einem Artikel, in dem sie vorschlägt, epigenetische Mechanismen als Apparate oder Schnitte im Sinne Barads zu verstehen (vgl. Davis 2014). Sarah Richardson fragt am Ende eines Artikels, wie der Zugang und die Analyse epigenetischer Forschung aussehen können. Ihrer Auffassung nach braucht es andere Analysen von Epigenetik, die sie nicht bloß genetischem Determinismus gegenüberstellen und als holistische Erklärung anerkennen und somit selbst binär denken. Es gälte vielmehr, eine Position dazwischen zu finden: »To access the new ontology, we might heed Karen Barad's call for a ›diffractive‹ rather than merely ›reflective‹ reading of the ›entanglements‹ that produce knowledge claims.« (Richardson 2015: 228, H.i.O.) Welche Anknüpfungspunkte ich zwischen Barads Arbeiten und Umweltepigenetik finde und wel-

che Verschränkungen in umweltepigenetischen Studien darüber in einem diffraktiven Lesen sichtbar werden, präsentiere ich in dieser Arbeit.

1.2 Aufbau und Struktur der Untersuchung

Mit dem Ziel, ein diffraktives Lesen von umweltepigenetischen Forschungsarbeiten und Barads agentiellem Realismus durchzuführen, steigt die Arbeit zunächst damit ein, ausführlich beide Bereiche darzustellen. Sie besteht daher aus zwei Teilen. Im ersten Teil (2.-5. Kapitel) wird Umweltepigenetik in eingehender Betrachtung vorgestellt und rekonstruiert, wie sie Differenzen gleichzeitig produziert und auflöst. Eingangs gebe ich einen Überblick über das heterogene Forschungsfeld der Epigenetik (2. Kapitel). Hier werden Arbeiten Conrad Waddingtons erläutert, der als einer der Begründer der Epigenetik gilt. Waddington interessierte sich in den 1940er Jahren für Plastizität und das Zusammenspiel von Genen und äußeren Umwelten und erklärte so Varianzen in Entwicklungsverläufen (2.1). Anschließend wird das heterogene Feld gegenwärtiger epigenetischer Forschungen anhand aktueller Fragen und Schwerpunkte präsentiert (2.2). Technologische Entwicklungen haben die Forschungspraxis stark verändert und so werden verschiedene molekularbiologische Mechanismen als epigenetische Modifikationen identifiziert, die zu phänotypischen Veränderungen und Erkrankungen führen können. Das ist auch ein Grund dafür, warum Epigenetik häufig eine Brücken- oder Mittlerinnenfunktion zugeschrieben wird – zwischen Genen/Umwelten, Natur/Kultur, Körperinnerem/Körperäußerem oder auch mehreren Generationen. Da mein Interesse vor allem auf solchen Untersuchungen liegt, die körperäußere Umwelteinflüsse beforschen, stelle ich anschließend den Bereich der Umweltepigenetik anhand einiger prominenter Studien genauer vor (2.3). Auch dieses Teilgebiet zeichnet sich durch sehr verschiedenartige Forschungsschwerpunkte aus und durch unterschiedliche Auffassungen davon, was als Umwelt gilt: Zellumwelt, Mütter als Umwelt des Fötus oder Nachwuchses, körperäußere Umwelt oder soziale Umwelt. Sehr häufig geht es darum, wie Umwelteinflüsse auf die Genaktivität wirken, und dies manchmal über Generationen hinweg. Oftmals werden Unklarheiten und große Wissenslücken darüber benannt, wie genau die Beeinflussung und damit assoziierte Mechanismen ablaufen und Zusammenhänge zu erklären sind. In den Studien sind Mäuse-, Ratten- und menschliche Mütter auffallend häufig Untersuchungsobjekte, um den Einfluss ihres Verhaltens auf die Nachkomm_innen nachzuvollziehen.

Wie ich im 3. Kapitel zeige, gibt es bereits ein großes Interesse an Epigenetik über die naturwissenschaftlichen Fachkreise hinaus. Der Fokus auf Mütter ist ein Grund, warum Geschlechterforschung und feministische Wissenschaftstheorie zur kritischen Begleitung des Feldes aufrufen und in ihren Analysen wenig optimistisch gestimmt sind. Da sich meine Untersuchung in diesen Bereichen verortet und

daran anschließt, werden zentrale Konzepte hieraus vorgestellt. Auch dabei zeigen sich ganz unterschiedliche Einschätzungen: Manche Autor_innen setzen sich vor allem damit auseinander, welche Möglichkeiten mit der Öffnung gegenüber körperäußeren Umwelteinflüssen verbunden sind, und betonen, dass nun vermehrt auf die gesundheitsschädlichen und körperlichen Folgen von sozialen Ungleichheiten, Rassismus oder Sexismus aufmerksam gemacht werden kann. Doch gibt es auch eine weitverbreitete Skepsis gegenüber Epigenetik und viele Autor_innen diagnostizieren trotz aller Öffnungen, dass deterministische und reduktionistische Erklärungsweisen weiterhin Erfolg haben, wenn zum Beispiel komplexe (soziale) Umwelteinflüsse in ein Laborexperiment übersetzt und auf eine molekularbiologische Ebene heruntergebrochen werden.

Es folgt die erste empirische Beschäftigung mit dem Feld (4. Kapitel), um den vorgehend erwähnten Potenzialen und Kritikpunkten nachzugehen. Mit Hilfe von Karin Knorr-Cetina geht es zu Beginn des 4. Kapitels darum, meinen Untersuchungsgegenstand – umweltepigenetische Studien, die als Paper in englischsprachigen Fachzeitschriften erschienen sind – wissenssoziologisch zu charakterisieren. Auf Basis der vorangegangenen Kapitel begeben sich dann in erste Analysen und orientiere mich dafür an Themen und Begrifflichkeiten, die im Feld immer wieder relevant gemacht werden. So beschäftigt sich die erste empirische Phase (Pilotphase) mit vier Studien aus der Umweltepigenetik und befragt sie auf ihr Verständnis von Epigenetik und Umwelteinflüssen, die Rolle der Mittlerin sowie zeitliche Dimensionen, also ob etwas über mehrere Generationen hinweg weitergegeben wird und inwiefern epigenetische Veränderungen als zeitweise oder permanent bezeichnet werden. Hier kristallisieren sich Themen heraus, die ich für das spätere diffraktive Lesen im zweiten Teil der Arbeit (8. Kapitel) aufgreife, wie zum Beispiel die immer wieder formulierten fachlichen Unsicherheiten und Unklarheiten.

Auf Basis dieser ausführlichen Beschäftigung mit Literatur aus und über Umweltepigenetik und auf Basis der gewählten Studien wird der erste Teil der Arbeit mit der Hypothese abgeschlossen, dass das Feld durch ambivalente Gleichzeitigkeiten charakterisiert ist. Ausgehend von meiner Lektüre und den ersten Analysen argumentiere ich somit im 5. Kapitel, dass Umweltepigenetik weder einseitig noch eindeutig ist: Es ist sowohl ein Verharren auf und Reproduzieren von binären Differenzsetzungen zu beobachten als auch Auflösungen und Überschreitungen von Differenzen. Diese eingehende Auseinandersetzung mit Umweltepigenetik (2.-5. Kapitel) ermöglicht, Themen und Begriffe herauszuarbeiten, die sich aus dem Feld selbst ergeben und die in der zweiten Empiriephase (8. Kapitel) mit Barads agentiellem Realismus zusammengeführt werden. Zentral für die methodische Ausgestaltung des diffraktiven Lesens sind vier Anknüpfungspunkte, die ich aus der intensiven Beschäftigung mit Umweltepigenetik und Barads agentiellem Realismus, also systematisch aus beiden Bereichen heraus, entwickelt habe.

An die eingehende Auseinandersetzung mit Umweltepigenetik schließt eine vertiefte Darstellung von Barads Arbeiten. Ich eröffne den zweiten Teil der Arbeit mit der Vorstellung des agentiellen Realismus und erläutere anhand zentraler Begrifflichkeiten wie Ethico-Onto-Epistemologie, Verschränkungen, Intra-aktionen, Agency oder Relationen Barads komplexe Theorie. Das 6. Kapitel schließt mit der Darstellung ihrer diffraktiven Methodologie.

Nachdem somit die beiden Hauptkomponenten dieser Arbeit – Umweltepigenetik und agentieller Realismus – getrennt voneinander präsentiert wurden, geht es darum, beides diffraktiv zu überlagern. Während das 2. bis 5. Kapitel auch für sich genommen als Überblick über umweltepigenetische Arbeiten gelesen werden können und das 6. Kapitel als Einführung in Barads agentiellen Realismus, ist Hauptanliegen der vorliegenden Arbeit, beides zusammenzubringen, oder in Barads Worten: durch einander hindurch zu lesen. Um ein diffraktives Lesen anhand weiterer umweltepigenetischer Studien zu praktizieren, muss zunächst ein diffraktiver Apparat entwickelt werden. Das 7. Kapitel widmet sich daher den Schnittstellen beider Bereiche und stellt dar, welche Anknüpfungspunkte auf Basis der vorangegangenen intensiven Beschäftigungen mit beidem zu finden sind. So bieten die vier Anknüpfungspunkte ›Un/Bestimmtheiten‹, ›Phänomene‹, ›Relationen‹ und ›Verschränkungen‹ die Schablone, mit Hilfe derer ich ein diffraktives Lesen durchführe.

Kern der Untersuchung bildet das 8. Kapitel, in dem ich den entwickelten diffraktiven Apparat einsetze und drei weitere umweltepigenetische Studien höchst detailliert analysiere und mit Barad durch einander hindurch lese. Auf Grundlage der sehr ausführlichen Textanalysen ist es möglich, andere Anordnungen herauszuarbeiten, die sich ebenfalls in den Studien finden lassen. So kann die Arbeit in drei neuen Figurationen münden (9. Kapitel), die durch das diffraktive Lesen zu Tage treten: ›Mütter als Verschränkungen‹, ›responses als Un/Bestimmtheiten‹ und schließlich ›Epigenetik als Intra-aktion‹. Im Schlusskapitel wird deutlich, dass andere ›Figurationen neue Geschichten‹ eröffnen (vgl. Thiele 2020). Anhand der diffraktiven Methodologie wird eine interdisziplinäre Beschäftigung mit Umweltepigenetik ermöglicht, die nicht im Modus einer wissenschaftskritischen Analyse endet, sondern Figurationen aus dem Feld anders weitererzählt. Das diffraktive Lesen umweltepigenetischer Studien veranschaulicht damit, dass naturwissenschaftliche Forschungsarbeiten andere Perspektiven bereithalten, die jenseits dominanter Differenzsetzungen und Hierarchisierungen liegen.

2. Zwischen Genen und Umwelten. Entstehung und aktuelle Forschungsfragen der Epigenetik

Mit Epigenetik nehme ich ein Forschungsfeld in den Blick, das seit Mitte der 1990er Jahre viel Aufmerksamkeit genießt. Obwohl es nicht der einzige naturwissenschaftliche Zweig ist, der nicht nur körperinnere Prozesse betrachtet, sondern ihre Untersuchungen auf äußere Umweltfaktoren und somit komplexe Wechselwirkungen lenkt,¹ ist ein breites Interesse in naturwissenschaftlichen Fachkreisen, den Gesundheitswissenschaften, aber auch den Sozialwissenschaften und in populärwissenschaftlichen Diskursen zu verzeichnen. Die breite Interessenlage ist vor allem mit der Öffnung hin zu Körperäußerem und den beforschten Interaktionen zwischen Körperinnen und Körperaußen, Genen und Umwelten, Natur und Kultur zu erklären. Die Politikwissenschaftlerin Maria Hedlund führt die große Aufmerksamkeit für das Feld auf folgenden Aspekt zurück: »The distinctive features of epigenetics are that epigenetic mechanisms governing gene expression can be modified by diet, pharmaceuticals, exercising habits, toxic exposures, and other lifestyle and environmental factors.« (Hedlund 2012: 178)

In diesem Kapitel werde ich das epigenetische Feld beleuchten und so verdeutlichen, warum es Anlass bietet für eine feministisch-materialistische Auseinandersetzung mit Differenzen. Aktuelle epigenetische Forschung hat sich seit Waddington, der den Begriff in den 1940er Jahren geprägt hat, weiterentwickelt. Dennoch möchte ich zunächst einige seiner Konzepte vorstellen, ohne eine umfassende wissenschaftshistorische Betrachtung zu liefern. Denn Waddingtons Arbeiten bieten eine Grundlage für die heutige Epigenetik. Außerdem zeigt bereits eine knappe Darstellung seiner Annahmen, wie er sich zwischen den Vorstellungen von Genderterminismus und dem komplexen Wechselspiel von Genen und Umwelten bewegte. Da ich vor allem Differenzsetzungen in der heutigen Umweltepigenetik verfolge,

1 Dies ist zum Beispiel auch für die Hirnforschung (vgl. Kaiser et al. 2009) oder die Environmental Genomics (vgl. Hammond, Hofmann 2012) zu verzeichnen.

gebe ich im Anschluss einen Einblick in die heterogene epigenetische Forschungslandschaft, wie sie sich seit Mitte der 1990er Jahre entwickelt hat.

2.1 Begriffsursprung und Entwicklung der Epigenetik bei Conrad Waddington

Zumeist wird Waddington (1905-1975) als derjenige benannt, der »Epigenetik« in den 1940er Jahren in die Embryologie und die Genetik einführte. Der Begriff gilt als Wortneuschöpfung aus Epigenese und Genetik (vgl. Schmidt 2014: 260; Squire 2017: 6) und ergab sich aus Debatten darüber, ob Präformation oder Epigenese die richtige Lehre biete. Aus der Perspektive der Präformation waren Entwicklungsvorgänge von dem aus zu erklären, was schon vorher da war. Daraus würde sich Neues entwickeln. Dies basierte auf der Vorstellung, dass der vollständige Organismus in Ei oder Spermium bereits in Miniaturform vorliege und die embryologische Entwicklung darauf aufbaue (vgl. Müller, Olsson 2003: 115). Während mit Präformation ein eher deterministisches und reduktionistisches Erklärungsmodell verbunden wird, gilt die Epigenese als holistisch, da sie die Plastizität und Anpassungsfähigkeit der Organismen fokussierte (vgl. Müller-Wille 2014: 237). Diese Eigenschaft macht Epigenetik auch heutzutage für viele Forschende interessant. Epigenese konzentrierte sich also weniger auf das Präexistierende, als auf das immer wieder neu Entstehende im embryologischen Entwicklungsverlauf sowie das Zusammenspiel mit Umwelteinflüssen. Waddington knüpfte an beiden Perspektiven an und entwarf ein epigenetisches Verständnis von Entwicklung und eine explizit nicht präformistische Genetik, in dem er die Bedeutung der Gene betonte und Umweltfaktoren als einen Aspekt unter vielen Einflussfaktoren auf Entwicklungsverläufe bezeichnete (vgl. Schuol 2016: 47, 48).

Waddington hatte Geologie studiert und sich zudem mit Philosophie beschäftigt. In einigen Texten diskutierte er die Verbindung von evolutionären und ethischen Fragen (vgl. Waddington 1960) und beschrieb den Missstand, dass in theoretischer Biologie – anders als in theoretischer Physik – kaum philosophische Fragen einbezogen würden (vgl. Waddington 1968). Seine bekannteren Arbeiten untersuchten vor allem die frühe embryonale Entwicklung und Themen der Genetik. Hatte man am Ende des 19. Jahrhunderts und zu Beginn des 20. Jahrhunderts in der Vererbungslehre noch Embryogenese und Vererbung zusammengedacht, so wurden sie mit der Etablierung der Genetik getrennt und Fragen der Entwicklung in die Embryologie verschoben. Waddington wollte beides wieder verbinden. Aus der Perspektive des Genetikers argumentierte er:

»We should find ourselves involved with the same highly complex and little understood series of problems which confront the experimental embryologist; with

the problem of structures of various ranges of size, with the differentiation of cells and of tissues, and with the question of whether differentiation is into sharply contrasted alternatives or into a continuously varying range of products.« (Waddington 2012 [Orig. 1942]: 13)

Waddington spricht hier unter anderem die bis heute herrschende Wissenslücke in der Erforschung von Mechanismen an, die die Differenzierung von Zellen (z.B. in Nerven-, Muskel- oder Leberzellen) begleiten und damit auch das Verhältnis von Geno- zu Phänotyp.

Prominent ist sein Konzept der »epigenetischen Landschaft«, ² das den Prozess der »Entscheidungsfindung« von Zellen oder Gewebe für einen Entwicklungsweg bezeichnet. In *Organisers and Genes* (Waddington 1940) beschrieb er, wie bedeutend die Fähigkeit von Zellen und Geweben ist, auf einen Impuls oder ein Signal aus der Umwelt zu reagieren, und dass Entwicklung auf zahlreichen verzweigten Entscheidungen basiert, die (jedoch) unter der Kontrolle von Genen stehen. Dabei interessierten ihn weniger die auslösenden Signale (»inducer«), sondern vor allem, dass die Zellen unterschiedlich auf Signale reagieren oder antworten können und somit verschiedene Entwicklungspfade möglich sind: »in normal development only a limited number of different cell types put in an appearance, and [...] each of them shows some power of »regulation« or resistance of disturbing effects of the environment.« (Waddington 1968: 526) Die epigenetische Landschaft steht für ein dynamisches System, in dem Zellen und Gewebe unterschiedlich auf Signale reagieren und in verschiedenen Regionen mannigfache Entwicklungswege einschlagen. Zugleich gibt es demnach keine beliebige Entwicklung, sondern eine begrenzte Anzahl an Möglichkeiten und alles bleibt genetisch kontrolliert. Visualisiert wurde Waddingtons epigenetische Landschaft als unebene Oberfläche, auf der ein rollender Ball zahlreichen möglichen Pfaden und Abzweigungen folgen kann. Der Ball steht dabei für eine Zelle im Embryo, die bei jeder entwicklungsbedingten Abzweigung durch Signale angestoßen wird, den einen oder den anderen Weg zu nehmen. Gene prägen in Abhängigkeit vom Entwicklungsstand des Organismus und von Umweltreizen die epigenetische Landschaft. Demnach ist nicht genetisch vorbestimmt,

2 In *Strategy of the Genes* (Waddington 1957) erklärte Waddington, dass die Landschaft eine Oberfläche repräsentiere, die in einen multidimensionalen Raum zellulären Stoffwechsels eingebettet sei (vgl. Slack 2002: 892). Es gibt zudem Darstellungen, auf denen auch die Unterseite der epigenetischen Landschaft zu sehen ist. Dort stellen die stützenden Pflöcke der Oberfläche Gene dar, die gemeinsam die Landschaft bilden und formen. Je nach Beschaffenheit der Landschaft bewegt sich eine Kugel auf ihr und kann verschiedene Wege einschlagen, bis sie ihr Ziel, das ausdifferenzierte Gewebe, erreicht (vgl. Schuol 2016: 48). Jan Baedke (2013) und Susan Merrill Squier (2017) setzen sich mit der Metapher der epigenetischen Landschaft ausführlicher auseinander.

was passiert, und ein harter Gendeterminismus scheint aufzuweichen. Es wird also deutlich, dass Waddington sich dem Komplex von Umwelteinflüssen öffnete. Zugleich hielt er an der Vorstellung eines Programms fest, nach dem Entwicklung stattfindet, und löst sich nicht vollständig vom Gen als determinierend.

Mit dem Konzept der »Kanalisation« machte Waddington deutlich, dass der Entwicklungsverlauf zwar abhängig von zahlreichen Faktoren und somit auch genetisch kontrolliert ist. Da er immer wieder neu festgelegt wird, ist er dennoch nicht vorbestimmt. »Genes are not interlopers, which intrude from time to time to upset the orderly course of a process which is essentially independent of them; on the contrary, there are no developmental events which they do not regulate and guide.« (Waddington 2012: 12) Obwohl er Einflussfaktoren und Umwelteinflüsse anerkannte, verblieb Waddington in einer genzentrierten Perspektive und das Modell der Kanalisation ist daher ein genetisches. Denn er schrieb, dass

»developmental reactions, as they occur in organisms submitted to natural selection, are in general canalized. That is to say, they are adjusted so as to bring about one definite end-result regardless of minor variations in conditions during the course of the reaction.« (Waddington 1942: 563, H.i.O.)

Waddington präziserte weiter, dass keine Form der Kanalisation je absolut ist, eine Masse sich entwickelndes Gewebe aber immer in einen von vielen möglichen Wegen gesteuert wird und somit ein standardisiertes Endprodukt entsteht (ebd.: 563). Die Entwicklung wird also kanalisiert und kleine Variationen – »not only in the environment in which the animals developed but also in its genetic make-up« (ebd.: 564) – werden durch den Genotyp abgepuffert (»buffering«). Sein Entwicklungssystem ist als Set alternativer kanalisierter Wege zu verstehen, die durchaus zu gleichen phänotypischen Merkmalen führen. Waddington wollte nun vor allem rausfinden, wie die Umwelt dies beeinflusst, und unterschied zwei Möglichkeiten: »the environment can act either as a switch, or as a factor involved in the system of mutually interacting processes to which the buffering of the paths is due.« (ebd.) Waddington betrachtete Umweltfaktoren nicht als alleinige Einflussmöglichkeit, sondern betonte sie entweder als Grund dafür zu verstehen, dass der Entwicklungspfad wechselt und die Richtung ändert, oder als Teil des Systems zahlreicher interagierender Prozesse im Laufe der Entwicklung.

Trotz eines gewissen Genomzentrismus zeichnen sich Waddingtons Arbeiten somit durch eine Offenheit gegenüber komplexen Entwicklungsprozessen aus, die auch den Einfluss äußerer Umweltfaktoren einbezieht. All jene Prozesse, die zwischen Geno- und Phänotyp liegen, bezeichnet Waddington als Epigenotyp, über den man aber nicht viel wisse:

»One general feature, however, is that it consists of catenations of processes linked together in a network, so that a disturbance at an early stage may gradually cause

more and more far reaching abnormalities in many different organs and times.«
(Waddington 2012: 10)³

In diesem Zusammenhang forderte Waddington auch eine begriffliche Modifikation in Bezug auf Vererbung:

»We need a heredity system which does not merely contain information, but which acts as algorithms or programmes and thus leads to the production of a phenotype which takes place between the genotype and the environment. It is the phenotype which acts on the environment (for example, in metabolism) and it is on phenotypes that the environment exerts its natural selective forces.«
(Waddington 1968: 525)

Waddington nutzte hier auch die Bezeichnung ›Programm‹ und somit eine deterministische Erklärung, da es von einem feststehenden Ablauf ausgeht. Zugleich betonte er die Wechselwirkungen von Phänotyp und Umwelten, die er nicht als linear, sondern in verschiedene Richtungen laufend beschrieb.

Ein berühmtes Beispiel für jenes Wechselspiel ist das Ausbilden von Hautschwielen an der Brust von Vogelstraußen. Waddington ging davon aus, dass bei den Straußvorfahr_innen in Reaktion des Entwicklungssystems auf Umweltreize an der Brust Schwielen entstanden waren. Da es sich als Vorteil erwies, um auf heißem und rauem Boden zu sitzen, blieben diese erhalten:

»If we suppose that the callosities, when they were first evolved, were dependent on the environmental stimulus, then the evolution appears as a readjustment of the reactivity of the skin to such a degree that a just sufficient thickening is produced with the normally occurring stimulus.« (Waddington 1942: 564)

Damit ist etwas angenommen, was auch heute noch für die Epigenetik charakteristisch ist: Durch Umweltstimuli wurden im Laufe des Lebens Hautschwielen gebildet. Die Nachfahr_innen wurden mit diesen geboren, obwohl sie dem Umwelteinfluss nicht mehr ausgesetzt waren. Waddingtons Erklärung dafür war, dass sich der umweltbedingte Stimulus in einen genetischen Faktor wandelt und die Entwicklung entsprechend kanalisiert wird. Er konnte jedoch nicht erklären, wie dies genau ablaufe:

»once a developmental response to an environmental stimulus has become canalized, it should not be too difficult to switch development into that track by mechanisms other than the original external stimulus, for example, by the internal mechanism of a genetic factor; and, as the canalization will only have been built

3 Der Begriff ›Epigenotyp‹ hat sich nicht durchgesetzt, aber die Annahme, dass besonders die frühe Entwicklung sensibel gegenüber Umwelteinflüssen ist, gilt auch heute noch (vgl. Godfrey et al. 2013: 57).

up by natural selection if there is an advantage in the regular production of the optimum response, there will be a selective value in such a supersession of the environment by the even more regularly acting gene.« (ebd.: 565)

Bereits in seinen Texten ist die Bezeichnungen der ›response‹ zu finden – ein zentraler Begriff für die vorliegende Arbeit, da hierüber das Verhältnis von Genen/ Umwelten und Natur/Kultur verhandelt wird.

Das Antworten führt zu einem weiteren wesentlichen Bestandteil in Waddingtons Arbeiten: der genetischen Assimilation und mit ihr die Vererbung erworbener Eigenschaften, die heute noch erforscht wird und umstritten ist. Mit der Annahme, dass der frühere Umweltstimulus durch einen inneren genetischen Faktor ersetzbar ist, prägte Waddington die Vorstellung, dass im Laufe eines Lebens erworbene Eigenschaften vererbbar sind. Dies knüpft an Annahmen an, die John Baptiste Lamarck (1744-1829) formulierte, und steht entgegen der Vorstellung, dass phänotypische Veränderungen nur durch Mutationen weitervererbt werden können. Lamarck ging bereits davon aus, dass auch Eigenschaften und Merkmale, die erst im Laufe eines Lebens auftreten, vererbt werden können. Seine Annahmen konkurrierten mit der Evolutionstheorie Charles Darwins (1809-1882) und dem Konzept der Keimbahn-Mutationen. Nach Darwin galten genetische Veränderungen als zufällig entstehend (Mutation) und nur diese Art der Veränderung als vererbbar und mittels natürlicher Auslese als relevant für Evolution. Demnach kommt es nur durch zufällige Mutationen zu vererbbaaren Veränderungen, die zwar auch durch Umweltfaktoren beeinflusst werden könnten, doch spiele die Umwelt nur eine Rolle in Bezug auf Selektion. Waddington nahm den Lamarckschen Ansatz wieder auf und betonte die Relevanz von Umweltfaktoren für den Verlauf der Entwicklung und für Vererbung:

»from each phenotype you have to map back to a genotype, passing through a space of ›epigenetic operators‹ which is not wholly constituted by the active genes, but in which environmental influences may act as programme modifiers (thus again in the mapping is not essentially one-to-one).« (Waddington 1968: 527, H.i.O.)

Fitness gemäß Darwinscher Evolutionslehre sollte nicht eindimensional auf die Wahrscheinlichkeit, sich fortzupflanzen, reduziert werden, da wir es nicht mit statistischen und uniformen Umwelteinflüssen zu tun haben, so Waddington. »Evolution is really about the ability to cope with futures which cannot be entirely known but may not be wholly unforecastable.« (ebd.: 527) Was Waddington hier anspricht, ist die Bedeutung der Fähigkeit von Lebewesen, sich an veränderte Umwelten anzupassen, für Evolution. Wie die Anpassung an beziehungsweise das Antworten auf Umwelteinflüsse funktioniert und wem die Fähigkeiten zuge-

schrieben werden, wird mich im hinteren Teil der Arbeit in Bezug auf aktuelle Forschungen weiter beschäftigen.

Ich belasse es bei dieser kurzen Darstellung der Anfänge der Epigenetik⁴ und einigen Annahmen Waddingtons. Die Vorstellung, dass Interaktionen mit der Umwelt für Entwicklung relevant sind, gab es laut Scott Gilbert schon in der Embryologie des späten 19. Jahrhunderts. Waddington war einer derjenigen, der dies wieder aufgriff (vgl. Gilbert, 2012: 21). Mit dem Aufkommen des Begriffs der Epigenetik in den 1940er Jahren im europäischen und nordamerikanischen Raum wurde der Einfluss von Umweltfaktoren auf die Entwicklung sowie die Weitergabe von im Laufe eines Lebens erworbenen Merkmalen wieder diskutiert. Aus diesem Grund genießt Umweltepigenetik große Aufmerksamkeit, auch in der vorliegenden Arbeit. Was bedeutet die Öffnung hin zur Umwelt für die Differenzsetzungen Gene/Umwelt, Natur/Kultur oder vergangen/zukünftig? Sind hier Bedingungen vorzufinden, die es ermöglichen, Natur und Kultur nicht dualistisch zu denken? Wie ist das vor dem Hintergrund zu bewerten, dass zugleich die genetische Ebene zunehmend wichtiger wurde? Diese Entwicklung zu einem Erstarren des Gendeterminismus – oder »Genfetischismus«, wie Haraway (1995b) es nennt – setzte sich bis zum Ende des 21. Jahrhunderts fort und ist auch in aktuellen naturwissenschaftlichen Debatten zu beobachten (vgl. Müller-Wille, Rheinberger 2009).⁵

Vielfach wird gesagt, dass Waddingtons Arbeiten heute größtenteils in Vergessenheit geraten sind und zu seinen Lebzeiten nicht anschlussfähig waren für weitere Erkenntnisse und Diskussionen.⁶ So unterscheiden sich die aktuellen Konzepte in der Epigenetik von seinen vor allem in der Fokussierung auf molekulare Regulationsmechanismen und die auf der Desoxyribonukleinsäure (DNA) liegende Genexpression (vgl. Schuol 2016: 46, 50). Waddingtons Arbeiten zeichnen sich sowohl durch eine Distanzierung von gendeterministischen Erklärungsmodellen aus, da er den Einfluss von und das Wechselspiel mit Umweltfaktoren betonte und so ein komplexeres und dynamischeres Bild von embryonaler Entwicklung

-
- 4 Ein anderer Wissenschaftler, der bereits früh zu Epigenetik arbeitete, war David L. Nanney. Er prägte mit dem Konzept des epigenetischen Kontrollsystems (vgl. Nanney 1958) aber ein anderes Verständnis: Er wollte betonen, dass neben der genetischen Ebene auch die epigenetische in ihrer Funktion als Regulatorin der Genexpression eine wichtige Rolle spielt (vgl. Saunders 2017: 83). Dies entspricht vielmehr der heutigen epigenetischen Forschung (vgl. Meloni 2014: 2).
 - 5 Wie es sich in anderen geopolitischen Regionen entwickelte, wo und seit wann wieder mehr über das Zusammenspiel mit äußeren Umwelteinflüssen geforscht wird, sind wichtige Anschlussfragen, die Wissenschaftsgeschichte und -soziologie verfolgen, die hier aber nicht weiterbearbeitet werden.
 - 6 Baedke arbeitet eine differenziertere Sicht heraus und zeigt, dass Waddingtons Theorie zwar nicht direkt aufgenommen wurde, dass seine epigenetische Landschaft aber durchaus großen methodischen Einfluss auf spätere Ansätze hatte (vgl. Baedke 2013).

und Vererbung zeichnete, gleichzeitig aber in der Logik monokausaler Determinismen argumentierte. Dieses Changieren finde ich ebenfalls in heutiger Epigenetik. Auch Kerstin Schmidt hält fest, dass Waddington durchaus genomzentriert dachte und Gene als regulierend beschrieb, dabei aber offen für Entwicklungsfaktoren und alle Prozesse zwischen Geno- und Phänotyp war und anders als die heutige Epigenetik nicht nur auf Genregulation fokussierte (vgl. Schmidt 2014: 260 ff.). Für die Auseinandersetzung mit Differenzsetzungen sehe ich die Frage danach, was »dazwischen« – zwischen Geno- und Phänotyp oder Genen und Umwelten – positioniert ist, als bedeutsamen Ausgangspunkt. Auch in aktueller epigenetischer Forschung wird die Position dazwischen weiterhin verhandelt. Da sich ein diverseres Forschungsfeld mit hochkomplexen und technisierten Untersuchungsmethoden entwickelt hat, das ganz unterschiedliche und zum Teil widersprüchliche Annahmen über Differenzen macht, stelle ich dieses Feld nun vor.

2.2 Epigenetische Modifikationen und molekularbiologische Prozesse. Aktuelle Ansätze und Forschungsschwerpunkte

Der Versuch, Epigenetik zu definieren, veranschaulicht die Diversität der epigenetischen Forschungslandschaft. Hier beschäftigt man sich mit unterschiedlichen Phänomenen aus verschiedenen disziplinären Perspektiven. Nach der ersten Verwendung des Begriffs in den 1940er Jahren durch Waddington hat sich seine Bedeutung vielfach gewandelt.

»This term has now been somewhat redefined and although there are many variants of the definition of this term today, a consensus definition is that epigenetics is the collective heritable changes in phenotype due to processes that arise independent of primary DNA sequence.« (Tollefsbol 2011: 1)

Zentral ist, dass epigenetische Veränderungen den Phänotyp betreffen, nicht aber den Genotyp. Das heißt die DNA selbst wird nicht modifiziert, und dennoch sind Veränderungen vererbbar. Der Phänotyp ist also nicht bloß durch den Genotyp festgelegt, sondern es gibt weitere Faktoren, die seine Entwicklung beeinflussen. Das bedeutet, dass der Phänotyp im Gegensatz zum Genotyp veränderlich ist. In diesem Zusammenhang wird auch von Plastizität gesprochen: »Phenotypic plasticity, often called »developmental plasticity« when observed in embryonic and juvenile stages, is the ability of an organism to react to an environmental input with a change in form, state, movement, or rate of activity« (Gilbert 2012: 20, H.i.O.). Damit ist die Vorstellung verbunden, dass es eine bestimmte genotypische Ausstattung gibt. Wie der Organismus sich phänotypisch entwickelt, ist aber nicht komplett festgelegt oder vorhersagbar, sondern von weiteren Bedingungen wie zum Beispiel Umwelteinflüssen abhängig.

Eine wesentliche Rolle nehmen also Umweltfaktoren ein. Viele Forschende in der Epigenetik gehen von einer spezifischen Anpassungsfähigkeit an die aktuellen Umweltbedingungen aus (vgl. z.B. Ly et al. 2020; Kronholm 2022). Diese Fähigkeit sowie die Umwelten haben Auswirkungen auch für die Gesundheit: »if the environment in childhood and adult life differs from that predicted during fetal life and infancy, the developmental responses may increase the risk of adult disease.« (Godfrey et al. 2013: 58)⁷ Somit zeigen sich in der Epigenetik Erklärungsmodelle jenseits genzentrischer Kausalitäten, die auf komplexe Prozesse und das Zusammenspiel mit der Umwelt hinweisen: »gene-environment interaction terminology contributes to the failure to regard developmental plasticity as a key component of phenotypic determination« (Gluckman et al. 2011: 17).

Relevant für die vorliegende Arbeit ist, dass der Begriff der Plastizität, der eine gewisse Offenheit und Gestaltbarkeit impliziert, und in diesem Zusammenhang auch Vorstellungen von Antwort- und Anpassungsfähigkeit verbreitet sind. Eine gängige Formulierung ist, dass Zellen, Gewebe oder Organismen auf Umweltfaktoren *antworten*: »The ability of organisms to respond to environmental cues by producing different phenotypes may be critically important in evolution« (Gilbert 2012: 20). Damit eröffnet die Epigenetik Erklärungsweisen, die erstens nicht im Körper verbleiben, sondern auf die komplexen Wechselwirkungen mit der Umwelt fokussieren (Plastizität) (vgl. z.B. Chiu, Gilbert 2020). Zweitens ermöglichen sie eine neuartige Auseinandersetzung mit der Frage danach, welche Fähigkeiten (»ability [...] to respond«) Organismen, Phänotypen oder andere Materialitäten in diesem Wechselspiel haben.⁸ Beides ist relevant für meine Beschäftigung mit Differenzen und meine Analysen epigenetischer Studien.

In der Epigenetik geht es darum zu verstehen, wie genau Umweltfaktoren Einfluss nehmen und wie das komplexe Wechselspiel und vor allem daran beteiligte molekularbiologische Prozesse funktionieren. Prominent sind hier zwei Mechanismen, die epigenetische Markierungen⁹ verändern und die Genregulation erklären

7 Diese Forschungsrichtung wird auch unter dem Kürzel DOHaD diskutiert, was für »developmental origins of health and disease« steht.

8 Diese Frage ist nicht völlig neu. So hat beispielsweise Evelyn Fox Keller auf Folgendes hingewiesen: »Heute ist die Zuschreibung von Eigenschaften wie Handlungsfähigkeit, Autonomie und grundlegende Ursächlichkeit an Gene so vertraut geworden, daß es naheliegend, sogar selbstverständlich erscheint.« (Keller 1996: 314). Während Keller aber vor allem auf die Zuschreibung von Agency in der Genetik fokussiert, geht es mir um ein spezifisches Verständnis von Agency nach Barad (s. 6. Kapitel) und wie dies mit umweltepigenetischen Studien resoniert.

9 Epigenetische Marker oder Markierungen sind zum Beispiel Moleküle, die an DNA-Basen heften und so das Ablesen verhindern, wie im Falle der DNA-Methylation (vgl. Veland, Chen 2017: 12).

(vgl. Curley et al. 2011: 391): Histonmodifikation und DNA-Methylierung. Die Aktivität von Genen kann vom Aufbau des sie umgebenden Chromatins abhängen, also dem Material der Chromosomen, bestehend aus einem Komplex von DNA und Proteinen, unter anderem Histonen. Bezüglich des Aufbaus wurden verschiedene Mechanismen bestimmt, die das Chromatin in einem offenen oder in einem geschlossenen Zustand fixieren. Grundlage dafür bilden vor allem Histone. Die Gesamtheit dieser Mechanismen, durch die keine Mutation, sondern eine strukturelle Modifikation des Chromatins stattfindet, wird als Histoncode bezeichnet. Diese Histonmodifikationen können von Zelle zu Zelle (intragenerationell) und zum Teil von Generation zu Generation (transgenerationell) weitergegeben werden.

DNA-Methylierung, die chemische Modifikation der Base Cytosin,¹⁰ gehört zu den am besten erforschten epigenetischen Mechanismen (vgl. Gluckman et al. 2007b: 147). Sie umfasst den Prozess, in dem sich Methylgruppen an Cytosin heften und damit Gene ebenfalls abschalten oder stilllegen können, ohne das genetische Material zu verändern. Methylierte DNA-Sequenzen werden dann nicht abgelesen und damit die Genaktivität gestoppt. Methylierungsmuster bleiben unterschiedlich lang erhalten. Die Weitergabe an die Tochterzellen ist relativ üblich.

In der Epigenetik wird also gefragt, wie Zellen und Gewebe Informationen darüber erhalten, wie sie sich differenzieren, und wie sie diese Informationen an die nächsten Generationen (von Zellen und Gewebe, aber auch an Nachkomm_innen) weitergeben (vgl. Bitterge-Süt 2018). Geforscht wird nach Mechanismen, die dies erklären. Das sind vor allem Histonmodifikation und DNA-Methylierung. In der Zusammenschau verschiedener Vererbungssysteme, die durch epigenetische Mechanismen ablaufen, bezeichnen Eva Jablonka und Gal Raz Ribonukleinsäure (RNA) als zentrale Regulatorin: »During the last decade, it has become apparent that RNA is central to the regulation of cellular dynamics in eukaryotes and is also involved in cell and organism heredity.« (Jablonka, Raz 2009: 136) Auch Minoo Rassoulzadegan bezeichnet die Rolle von RNA als sehr bedeutsam: »Small RNAs interfere with several pathways, and in so doing they regulate gene expression, mediate host defense (against viruses and transposons), shape chromatin, and transfer information in somatic and germ cells transgenerationally« (Rassoulzadegan, 2011: 229, 230). Die RNA wird häufig als etwas vermittelnd und dadurch regulierend beschrieben, zum Beispiel indem sie zur Stilllegung bestimmter DNA-Sequenzen führt, die somit nicht mehr abgelesen werden.

Nicht nur RNA, sondern Epigenetik im Allgemeinen nimmt also häufig die Rolle ›dazwischen‹ ein: »Epigenetische Prozesse scheinen daher eine Brücke zwischen Anlage und Umwelt zu bilden, indem sie durch Prägung am Promotor (= Platzieren

10 Cytosin ist eine von vier Nukleinbasen der DNA und eine von fünf Nukleinbasen der RNA (vgl. Parker 2001: 510).

bzw. Entfernen von Methylgruppen an den Basenpaaren) Gene ›an-‹ und ›ausschalten-‹.« (Leuzinger-Bohleber, Fischmann 2014: 74, H.i.O.)¹¹ Die Position dazwischen ist charakteristisch für das Forschungsfeld und dessen Versuch, die Interaktionen von Genen/Umwelten, Natur/Kultur oder zwischen Generationen zu bestimmen.

Antworten darauf zu finden, warum sich »Organismen mit gleicher oder sehr ähnlicher genetischer Ausstattung oft so unterschiedlich« entwickeln oder warum »sich Zellen, Gewebe und Organe eines einzigen Individuums [unterscheiden, L.K.], wenn alle Zellen denselben Chromosomensatz tragen« (Schmidt 2014: 259), ist nach wie vor Gegenstand vieler Studien (vgl. z.B. Srinageshwar et al. 2016; Atlasi, Stunnenberg 2017). Wenn sich Zellen erneuern, teilen sie sich und vermehren sich dadurch. Damit aus einer Hautzelle wieder neue Hautzellen werden, muss auch die gleiche Information weitergegeben werden. Unklar sind bisher die genauen Mechanismen der Replikation sowie die Auslöser der Modifikationen. In diesem Zusammenhang ist häufig von epigenetischer Programmierung die Rede (vgl. Block, El-Osta 2017; Alyamani, Murgatroyd 2018; Zapata-Martín del Campo et al. 2018) sowie von ›cell memory‹, das an die neuen Zellen weitergegeben wird (vgl. Jablonka, Lamb 1998: 160). Das ›Gedächtnis‹ dient als Erklärung dafür, dass Zellen und Gewebe am gleichen Ort sich immer wieder gleich entwickeln, auch ohne die Einflussfaktoren, die ihre ›Vorfahr_innen‹-Zellen gelenkt haben. So wird trotz ihrer Totipotenz eine gewisse Stabilität erklärt:

»Epigenetic changes, in particular DNA methylation, provide a ›memory‹ of developmental plastic responses to early environment and are central to the generation of phenotypes and their stability through the life course. Understanding these processes may lead to novel insights into evolutionary biology and the risk of disease.« (Godfrey et al. 2013: 62, H.i.O.)

Oftmalig finden sich in der Epigenetik Formulierungen, die darauf hinweisen, dass vieles nicht bekannt sei. So gilt vielfach als noch ungeklärt, wie es zur Vererbung und Weitergabe dieser epigenetischen Prägungen und Erinnerungen (›memory‹) kommt, obwohl gleichzeitig diskutiert wird, dass Löschungen (Reversibilität) der epigenetischen Markierungen stattfinden, wenn neue Zellen und besonders neue Generationen von Organismen produziert werden. Ob tatsächlich alles gelöscht wird, ist unklar. Jablonka und Raz gehen eher von »an intermediate between the two extreme poles of complete reset and faithful reconstruction« (Jablonka, Raz 2009: 160) aus.

Die unterschiedlichen Annahmen hierüber sind ein Grund für fachliche Kontroversen. Die Forschung zu Reversibilität ist bisher sehr rudimentär und wird vor allem in Bezug auf Genomic Imprinting diskutiert, einen epigenetischen Vererbungsprozess (vgl. Wossidlo 2012). Die Wirkweise eines Gens gilt hierbei als el-

11 Ein Promotor bezeichnet die Sequenz auf der DNA, die eine Genexpression ermöglicht.

ternabhängig: Beim Fötus, der eine mütterliche und eine väterliche Kopie fast aller Gene trägt, sind in der Regel alle Kopien expremiert. Genomic Imprinting bezeichnet die »geprägten« Gene, die durch Methylierungen inaktiviert werden können und ihr Ablesen damit verhindert wird (vgl. Bajrami, Spiroski 2016). Die Methylierungsmuster können unterschiedliche Wirkungen haben, je nachdem, ob die väterliche oder die mütterliche Kopie abgeschaltet ist (vgl. Lewin 2008: 832 ff). Die (In-)Aktivität einiger Gene wird in diesem Fall von der elterlichen Herkunft bestimmt.

Trygve O. Tollefsbol schreibt, »it is now apparent that epigenetic processes can be transferred in organisms from one generation to another« (Tollefsbol 2011: 1). Meines Erachtens ist eine solche Einigkeit im Forschungsfeld jedoch keineswegs gegeben. Vielmehr ist ausschließlich die intragenerationale und zelluläre Weitergabe epigenetischer Markierungen unumstritten, nicht aber die Weitergabe veränderter Genaktivitätsmuster an die nächste Generation und die Nachkomm_innen. Hieran zeigt sich eine wohl noch viel größere Fachdebatte:

»Am heftigsten umstritten ist die Bedeutung der transgenerationalen epigenetischen Vererbung für evolutionäre Prozesse und die Frage, ob umweltinduzierte epigenetische Veränderungen, die ein Organismus im Laufe seines Lebens erwirbt, im vollen Sinne erblich sind – ob man also tatsächlich von *transgenerationaler* epigenetischer Vererbung sprechen sollte.« (Schmidt 2014: 278, H.i.O.)¹²

Für einige Forschende umfasst epigenetische Vererbung nur die zelluläre Weitergabe.

Jaana Valsiner argumentiert, dass epigenetische Theorien sowohl zeigen, wie Stabilität als auch wie Veränderung biologischer Funktionen auf verschiedenen Ebenen wirkt (vgl. Valsiner 2014: 153). Er beschreibt den epigenetischen Gegenstandsbereich als die »einzelne Zelle, ihre Beziehung zu ihrer Umwelt (z.B. zu anderen Zellen) sowie ihre Eingebundenheit in unterschiedliche Organsysteme (z.B. Lunge)« (ebd.: 154). Ein weiterer Aspekt, der nicht einheitlich aufgefasst wird, ist damit angesprochen: die verschiedenen Umweltbegriffe. Es können sowohl (körper-)äußere, soziale als auch körperinnere, zelluläre Umwelteinflüsse gemeint sein.

»Scientists conceptualize and operationalize »the environment« in their research in tremendously varied ways. Even within the life sciences, the environment may

12 Sebastian Schuol merkt an: »Dabei ist zwischen Vererbung und Transgenerationalität zu unterscheiden. Unter Vererbung versteht man gemeinhin die transgenerational stabile, das heißt *durchgängige*, Übertragung der materialen Informationsträger mittels der Keimbahn. Transgenerationale Effekte implizieren allerdings nicht notwendig die Vererbung.« (Schuol 2014: 276, H.i.O.) Georg Toepfer fragt, ob nicht zwischen Vererbung und Transmission unterschieden werden müsse (vgl. Toepfer 2014), und auch Vanessa Lux thematisiert die Begriffe Vererbung und Transgenerationalität in der Epigenetik (vgl. Lux 2015).

refer to the cell (the environment of the gene), endogeneous hormonal profiles (the environment of the cells), indoor or outdoor ambient environments (the environments of the human body), social networks, poverty, and/or stressful life situations (the social environment); individual behaviors, such as diet and exercise, may also be included in definitions of »the environment.« (Shostak, Moinester 2015: 194, H.i.O.)

Epigenetische Studien unterscheiden sich somit nicht nur in der Bedeutung, die sie epigenetischer Vererbung zuschreiben, und in ihren verschiedenen Untersuchungsbereichen, sondern auch durch diverse Standpunkte dazu, welche Umwelten in Bezug auf epigenetische Veränderungen relevant sind. Wenn Godfrey et al. beispielsweise schreiben, »Epigenetic processes such as DNA methylation and histone modifications allow the developmental environment to modulate gene transcription« (Godfrey et al. 2013: 60), welches Verständnis von Umwelt haben sie dabei? Die körperäußere Umwelt, in der Lebewesen aufwachsen? Die Gebärmutter, in der sich der Embryo entwickelt, oder die Zellumwelt, in der neue Zellen entstehen? Je größer der Kreis möglicher Umwelteinflüsse, desto mehr Faktoren gelten als potenziell verändernd. Das Spektrum jener Faktoren, die als einflussreich aufgefasst werden, ist groß und somit scheint sich epigenetische Forschung mal mehr, mal weniger von genzentrischen und -deterministischen Erklärungsweisen zu entfernen.¹³

Neben den unterschiedlichen Positionen zur Weitergabe epigenetischer Modifikationen ist die Berücksichtigung unterschiedlicher Umweltfaktoren also ein weiterer Grund für die Heterogenität dieses Forschungsfeldes. Denise Barlow beispielsweise fokussierte in ihren Arbeiten und Untersuchungen auf grundlegende Abläufe und rudimentäre Prozesse. Sie betonte, dass die epigenetische Forschung sich zunächst weiter den basalen Fragen und Unklarheiten stellen müsse, die auf kleinster Ebene, in der Zelle und im Gen, ablaufen. Kritisch verstehe ich daher ihre Bemerkung »Epigenetics has always been all the weird and wonderful things that can't be explained by genetics« (Barlow in Bock 2014: 136). Die Forderung, zunächst die Wissenslücken über die genauen Abläufe und Mechanismen epigenetischer Modifikationen sowie über Zelldifferenzierung zu schließen, setzt an einem strittigen Punkt an, und stellt sich gegen den Trend, körperäußere Umwelteinflüsse als relevant anzuerkennen sowie die transgenerationale Vererbung epigenetischer Markierungen anzunehmen. In Forschungen mit Fokus auf zelluläre Kontexte und Prozesse (vgl. z.B. Latos et al. 2012) ist Epigenetik eher in einem »autopoietischen

13 Wie im 3. Kapitel deutlich wird, beschäftigen sich einige Autor_innen außerhalb der Epigenetik mit der Frage, inwiefern sich in epigenetischer Forschung tatsächlich von einem Gendeterminismus distanziert wird. Meine Schlussfolgerungen dazu formuliere ich im 5. Kapitel.

Verständnis der Biologie verhaftet, in dem sich innerkörperliche festgelegte Entwicklungsdynamiken zur Zell- und Funktionsspezifität unabhängig von äußeren Einflüssen gestalten.« (Schmitz 2015: 237)

Die Epigenetik, wie sie seit den 1990er Jahren betrieben wird, präsentiert sich also nicht als einheitlicher Gegenstandsbereich. Neben den fachlichen Kontroversen sind vor allem viele Verweise auf Wissenslücken oder bisher ungeklärte Zusammenhänge zu finden. Epigenetische Forschung wird in verschiedenen naturwissenschaftlichen Bereichen betrieben und behandelt somit ganz unterschiedliche Fragen, je nachdem, ob Studien in Biomedizin, Molekularbiologie, Neurobiologie, Psychopathologie, Embryologie oder anderen Fachrichtungen angesiedelt sind. Dies hat auch verschiedene Auffassungen zur Weitergabe und Vererbbarkeit epigenetischer Markierungen und zu relevanten Umwelteinflüssen zur Folge. Wie ich dargestellt habe, bedeutet Epigenetik wegen der Berücksichtigung von Umwelteinflüssen keinesfalls immer die Erforschung der Wechselwirkungen körperinnerer und körperäußerer Faktoren. Auch das Zusammenspiel verschiedener Systeme und Prozesse innerhalb von Körpern ist hier von Interesse. Ausgehend von der Annahme, dass vor allem die Wechselbeziehung körperäußerer und körperinnerer Aspekte einen interessanten Anknüpfungspunkt für die Auseinandersetzung mit Differenzen bietet, fokussiere ich vor allem auf solche Arbeiten, die körperäußere Umwelteinflüsse untersuchen. Daher setze ich mich im Folgenden mit dem Teilgebiet der Umweltepigenetik auseinander.

2.3 Stress, Trauma, Hunger – Erforschung von Umweltfaktoren in der Epigenetik

In der Umweltepigenetik geht es oftmals um das Entstehen von Krankheiten und sogenannten phänotypischen ›Störungen‹.¹⁴ Aufmerksamkeit auch außerhalb der Wissenschaften erhalten vor allem solche epigenetischen Studien, die den Einfluss körperäußerer, sozialer Umweltfaktoren untersucht haben. So berichten Ruth Müller et al. vom »public interest to the emerging field of environmental epigenetics« und weiter: »Environmental epigenetics is often heralded as providing a revolutionary perspective on disease aetiology, particularly with regard to so-called lifestyle diseases such as cardiovascular disease or diabetes.« (Müller et al. 2017:

14 In Fachkreisen ist von ›Störungen‹ die Rede. Da ich diesen abwertenden Begriff nicht reproduzieren möchte, verwende ich ihn ausschließlich in Anführungszeichen und in Bezug auf Aussagen anderer Personen. Zudem impliziert auch die Bezeichnung ›Krankheiten‹ die Abweichung von einer spezifischen Norm und zum Teil Abwertung eines Zustands. Beides kann problematische Implikationen haben, wenn Zustände, die von einer angenommenen Norm abweichen, per se als ›krank‹ charakterisiert werden.

1677) Auch der Teilbereich der Umweltepigenetik ist heterogen, da sehr verschiedene Umweltfaktoren erforscht werden. Wie bereits im vorherigen Unterkapitel (2.2) veranschaulicht wurde, existiert kein einheitliches Verständnis davon, was als Umwelt aufgefasst wird. Zu breit ist die Bedeutung dieses Begriffs, wenn nicht weiter spezifiziert wird, ob Gen- beziehungsweise Zellumwelt oder körperäußere Umgebung gemeint sind. Und auch die Fokussierung auf körperäußere Umwelt führt noch nicht zu einer präzisen Bestimmung. Denn erforscht werden der Einfluss von (traumatischen) Erfahrungen, Lebensbedingungen, Ernährungsweisen oder umweltbelastenden und gesundheitsgefährdenden Stoffen. Umweltepigenetische Studien erforschen also sehr verschiedenartige Faktoren, wie auch Niewöhner feststellt, wenn er über den Einfluss sozialer Lebensbedingungen schreibt: »This type of effect [social position, L.K.] differs substantially from, for example the intake of environmental toxins that are incorporated as a substance and may do harm if and where they are metabolized.« (Niewöhner 2015: 226) Die Aufnahme umweltbelastender Stoffe oder bestimmter Nahrungsmittel sei viel leichter zu kontrollieren und ganz anders zu untersuchen als etwa der Einfluss von sozialer Position, so sein Argument.¹⁵ Ich werde nun vor allem zwei Bereiche genauer betrachten. Im ersten geht es um solche umweltepigenetischen Forschungen, die den Einfluss von Ernährung untersuchen, und im zweiten um Studien, die Traumata und ihre Folgen für epigenetische Modifikationen im Gehirn fokussieren.

Ein Feld, das der Umweltepigenetik zugeordnet wird, ist das der Nutri-Epigenetik. Hier ist der Zusammenhang von Ernährung und bestimmten Nährstoffen mit epigenetischen Mechanismen und Genregulation zentral. Betrachtete Umweltfaktoren sind also Nahrungsmittel und Ernährungsweisen. So werden Nährstoffe erforscht, die die Übertragung einer Methylgruppe aus der Nahrung auf die DNA beeinflussen (vgl. Vergères, Gille 2014: 1) und darüber auch (chronische) Krankheiten (vgl. Greco et al. 2019) wie zum Beispiel Krebserkrankungen bedingen können (vgl. Tiffon 2018). Es ist einer der wenigen epigenetischen Bereiche, in denen es nicht nur Tierstudien, sondern auch Humanstudien gibt, in denen ebenfalls transgenerationale Effekte untersucht wurden.¹⁶

Vor allem die Erbbarkeit epigenetischer Markierungen ist nur schwer beim Menschen zu untersuchen, müssen hierfür doch mindestens drei Generationen von Individuen zur Verfügung stehen. Umso prominenter sind Langzeitstudien auf Basis von Ernte- und Bevölkerungsstatistiken in Överkalix (Schweden), über

15 Wie die Untersuchung von Umweltfaktoren in sozialwissenschaftlichen und wissenschaftstheoretischen Debatten bewertet wird, führe ich im 3. Kapitel aus.

16 Peter Gluckman et al. halten jedoch fest: »Human studies are much more limited but provide a number of lines of evidence suggesting transgenerational and non-genomic inheritance, although it is inevitably difficult to define the relative contributions of genetic, epigenetic and common environmental or learned behavioural factors.« (Gluckman et al. 2007b: 149)

die Folgen des niederländischen Hungerwinters 1944/45 sowie zur chinesischen Hungersnot (1959-1961). Aus Överkalix liegen Zahlen zur Nahrungsmittelknappheit sowie zu Geburten- und Sterberaten von 1890 bis 1920 vor. Erforscht wurden Folgen von Mangelernährung in der dritten Generation. Eindrücklich ist dabei vor allem eine zeitliche Dimension: Die Enkelkinder derjenigen, die bis zum Alter von vier Jahren von der Hungersnot betroffen waren, zeigten ein höheres Sterberisiko und eine kürzere Lebenszeit. Anders war es bei den Großeltern, die während der Nahrungsknappheit bereits älter waren (vgl. Kaati et al. 2007; Bygren et al. 2014). Mit Hilfe von statistischen Daten über die Hungersnot 1944/45 in den Niederlanden wurden die Folgen der Mangelernährung bei Schwangeren untersucht und auf den Methylierungszustand ihres IGF-2 Gens geschlossen, welches das Wachstum beeinflusst. Die Forschenden postulieren, dass bei Schwangeren, die wenig Nahrung zur Verfügung hatten, das IGF-2 Gen weniger methyliert und daher das Geburtsgewicht ihrer Nachkomm_innen geringer war (vgl. Curley et al. 2011: 392). Ezra Susser und Shang Lin (1992) fokussierten auf den Zusammenhang der Unterernährung mit dem erhöhten Auftreten schizophrener Erkrankungen bei den Enkel_innen. Auf eine vergleichbare Wechselwirkung wiesen auch David St Clair et al. (2005) mit Daten zur Nahrungsmittelknappheit in China (1959-1961) hin. Einige der genannten Studien erforschten zudem psychische Folgen nutri-epigenetischer Veränderungsmechanismen. Die Schlussfolgerungen dieser Studien basieren vor allem auf demografischen Daten und statistischen Zusammenhängen, da anders als bei den Tierstudien kein genetisches Untersuchungsmaterial vorlag.

Eines der bekanntesten Tierexperimente im Bereich der Nutri-Epigenetik ist das von Randy Jirtle und Robert Waterland an Mäusen, die mit dem sogenannten Agouti-Gen gezüchtet wurden, das durch erhöhtes Risiko zu Übergewicht, Diabetes und Krebs gekennzeichnet ist (vgl. Waterland, Jirtle 2003). Die Forscher_innen verabreichten weiblichen Agouti-Mäusen vor, während und nach der Schwangerschaft Futter mit vielen Methylgruppenlieferanten (Folsäure, Vitamin B 12, Cholin, Betain), um zu prüfen, ob die negativen Wirkungen des Agouti-Gens durch Methylierung und somit Stilllegung reduziert werden können. In den direkten Nachkomm_innen und Folgegenerationen reduzierte sich tatsächlich das Gewicht der Mäuse, zudem veränderte sich die Fellfarbe von gelb zu braun. Dadurch konnten die Forschenden nicht nur den Einfluss der Nahrung aufzeigen, durch die bestimmte Gensequenzen methyliert und somit abgeschaltet wurden, die mit Fellfarbe und Körperfülle assoziiert sind, sondern auch die transgenerationellen Effekte der Ernährungsweisen und die phänotypischen Veränderungen über mehrere Generationen hinweg. »Although it remains unknown whether the environmentally induced phenotypes can be transmitted to the F₂ generation, naturally occurring

variation in the *agouti* trait does indeed show a grandmaternal effect.« (Gluckman et al. 2007b: 148, H.i.O.)¹⁷

Ein weiterer umweltepigenetischer Bereich ist durch die Verbindung von Epigenetik, Hirn- und Traumaforschung zur Untersuchung psychischer Leiden gekennzeichnet. Wie viele andere auch (vgl. z.B. Jagomäe et al. 2021), nimmt auch die Epigenetikerin Isabelle Mansuy an, dass Umfeld, soziale Erfahrungen oder Traumata Individuen auch physisch beeinflussen und ursächlich für Verhaltens- und psychische ›Störungen‹ sind. In diesem Zusammenhang wird untersucht, welche molekularen Mechanismen und Veränderungen im Gehirn zu verzeichnen sind (Mansuy 2014: 57) und inwieweit die Modifikationen vererbbar sind, so dass ›Verhaltensstörungen‹ ebenfalls bei den Nachfahr_innen, die selbst keinem Trauma ausgesetzt waren, in Erscheinung treten (vgl. ebd.: 62; vgl. auch Krall 2018: 3). In diesem umweltepigenetischen Bereich werden unterschiedliche Umweltfaktoren als traumatisch und einflussreich aufgefasst und untersucht, aber: »Besonders die von der Mutter aufgewandte Fürsorge und die so erzeugte affektive und soziale Einbettung des Nachwuchses in das jeweilige Milieu sowie Sicherheit und Geborgenheit in frühen Lebensphasen sind hier von wesentlicher Bedeutung« (Mansuy 2014: 58). Mansuy arbeitet in ihren Studien vor allem mit Nagetieren, dennoch nimmt die Rolle von Müttern eine prominente Rolle ein, wie auch in den bereits erwähnten Studien, die mit den Daten zum niederländischen Hungerwinter 1944/45 sowie zur Nahrungsmittelknappheit in China 1959-61 arbeiten (vgl. auch Krall, Schmitz 2016: 103, 104). Diese Studien diskutieren einen möglichen Zusammenhang von Unterernährung bei Frauen in der frühen Schwangerschaft und ein erhöhtes Auftreten von Schizophrenie sowie Suizid bei ihren Kindern, was durch eine veränderte Entwicklung des Gehirns erklärt wird (vgl. Susser, Lin 1992; St Clair et al. 2005).

Weitere Humanstudien veröffentlichten auch die renommierten Epigenetiker Moshe Szyf und Michael Meaney, die davon ausgehen, dass frühkindlicher Missbrauch epigenetische Veränderungen im Gehirn auslöse (vgl. Ernst et al. 2008; McGowan et al. 2008). Dazu untersuchten sie post mortem die Gehirne von Suizidopfern und verglichen diese mit Gehirnen von Unfallopfern, die keinen Missbrauch erfahren hatten. Sie stellen fest, dass sich die DNA-Methylierung unterscheidet.¹⁸

Eine weitere Möglichkeit, den Einfluss von Stress und Trauma auf DNA-Methylierung zu untersuchen, zeigen Studien zur Reversibilität epigenetischer

17 Ob es sich in diesem Experiment tatsächlich um transgenerationelle Effekte handelt, wird zum Teil bestritten, und einige Forschende argumentierten, dass es sich um Weitergaben über die Keimbahn handelt, da die bereits trüchtige Mäusemutter ihr genetisches Material nicht nur an den Embryo weitergibt, sondern über die Keimzellen des Embryos auch auf die Enkelgeneration überträgt (vgl. Vergères 2012: 10).

18 Die Studie von McGowan et al. 2008 untersuche ich in der Pilotphase genauer (4.3).

Modifikationen, die jedoch nur in Tierstudien durchgeführt werden. Beispielsweise wird mit dem Einsatz von Medikamenten ein Effekt reversibel gemacht, der umweltbedingt entstanden ist, und so geprüft, inwiefern durch äußere Beeinflussung epigenetische Markierungen wieder zu löschen sind. Das wurde beispielsweise anhand des Fürsorgeverhaltens von Mäuseweibchen untersucht:¹⁹ Werden die Nachkomm_innen nicht ausreichend umsorgt, zeigen sie Verhaltensänderungen auf, die mit veränderten Methylierungsmustern in Verbindung gebracht werden. Mit Hilfe von pharmakologischen Mitteln konnten Weaver et al. diese epigenetischen Markierungen aber wieder löschen und zeigten, dass sich auch das Verhalten wieder veränderte (vgl. Weaver et al. 2004).²⁰ Studien wie diese versuchen, die Folgen der frühen Belastung auf späteres Verhalten deutlich zu machen, und bringen das mit molekularen Veränderungen im Gehirn in Verbindung, oftmals bei mehreren Generationen. Die Suche nach der Ursache von Erkrankungen oder ›Störungen‹ wird somit von Erfahrungen auf die molekulare Ebene verschoben.

Aus der Darstellung einiger umweltepigenetischer Forschungsschwerpunkte und Studien lassen sich die folgenden Punkte zusammenfassen, die ich in der Pilotphase (4. Kapitel) in den Fokus nehme: Epigenetische Forschungen untersuchen Mechanismen, die die Genaktivität regulieren, und somit den Phänotyp möglicherweise über Generationen hinweg beeinflussen. Wie epigenetische Mechanismen oder Programmierungen ablaufen, ist häufig ungeklärt. Nicht selten nimmt Epigenetik eine Zwischen- oder Mittlerinnenposition ein zwischen Körperinnerem und Körperäußerem, Genen und Umwelt und zwischen mehreren Generationen. Welches Potenzial dies birgt und welche Perspektiven sich hier eröffnen können, ist zentraler Bestandteil meiner Analysen. Vielversprechend klingt es jedenfalls, wenn Gilbert schreibt:

»There is more than just a G x E (genotype by environment) interaction. There is the genome, the organism, and the environment. The neuroendocrine system of the *organism* plays a critical role in mediating the environmental signals to the genome« (Gilbert 2012: 23, H.i.O.).

Für Epigenetiker_innen ist von Interesse, ob sich aus epigenetischen Modifikationen Verhaltensänderungen oder ›Störungen‹ ergeben, und wie Forschungen dazu biomedizinische Erkenntnisse und Behandlungsmöglichkeiten befördern. In der Umweltepigenetik wird angenommen, dass epigenetische Mechanismen wie His-tonmodifikationen oder DNA-Methylierungen durch verschiedene Umweltfakto-

19 Auch hier wird wieder das Verhalten der Mütter und Muttertiere betont und somit ihre Verantwortung. Inwiefern dadurch konservative Geschlechterrollen gefestigt werden, bespreche ich im 3. Kapitel ausführlicher und greife es im zweiten Teil der Arbeit wieder auf.

20 Mit dieser Studie setzte ich mich ebenfalls in der Pilotphase auseinander (4.4).

ren beeinflusst werden können. Die Studien unterscheiden sich stark darin, welche Einflüsse sie untersuchen und auf welche Weise sie das tun. Auch solche, die körperäußere Umweltfaktoren untersuchen, variieren darin, wie sie »nach einer für Forschungsdesigns fassbaren sozialen Umwelt« (Niewöhner 2014: 262) suchen.

Verschieden sind nicht nur die untersuchten Umweltfaktoren, sondern auch die Auffassungen darüber, ob es so etwas wie ein Zellgedächtnis gibt und ob immer auch von einer Vererbbarkeit epigenetischer Veränderungen ausgegangen werden kann. Den Blick auf mehrere Generationen zu werfen, ist zum Beispiel von Bedeutung, um Verhaltensänderungen oder (psychische) Erkrankungen nicht mehr nur sozial erklären zu können, sondern auch biologisch, wenn sie in der nächsten Generation auftreten, also bei den Nachkomm_innen, die selbst kein Trauma erfahren haben oder einem anderen Umwelteinfluss nicht selbst ausgesetzt waren. Bei der Frage danach, was weitergegeben und was gelöscht wird, nehmen die Mütter eine prominente Rolle in vielen Forschungen ein und werden zum zentralen Umwelteinfluss.

Für Vanessa Lux und Jörg Thomas Richter ist klar: Epigenetik befragt Lebensstil und Kultur auf ihre Bedeutung für die Genaktivität (vgl. Lux, Richter 2014b: xiv):

»Unsere Esskultur, unsere Beziehungen zu den eigenen Kindern, Eltern und Großeltern, traumatische Erlebnisse oder Alltagsstress werden im Tierexperiment simuliert oder, in messbare Einheiten zergliedert, in Fragebögen erfasst und jeweils in ihrem Einfluss auf epigenetische Mechanismen untersucht.« (Lux, Richter 2014b: xx)

Dies ist ein wesentlicher Grund, warum das Interesse an Epigenetik über ihre Fachkreise hinausreicht.

3. Diskussion der Epigenetik in Geschlechter- und Wissenschaftsforschung

Der vorangegangene Überblick über das Feld der Epigenetik sowie zuletzt über das Teilgebiet der Umweltepigenetik hat veranschaulicht, wie heterogen und facettenreich beides aufgestellt ist: Fachliche Kontroversen, Unwissen oder auch unterschiedliche Vorstellungen darüber, welche Umweltfaktoren als relevant gelten, machen es zu einem vielschichtigen Forschungsbereich mit diversen Schwerpunkten. Die Frage, inwiefern sich in umweltepigenetischen Diskursen Differenzsetzungen verschieben und Epigenetik sich öffnet, ist auch deswegen nicht einfach zu beantworten und berührt ambivalente Bewegungen. Vor allem das Verständnis der äußeren Umwelt kritisierend, resigniert Ute Kalender:

»Aber dieses epigenetische Konzept korrespondiert nicht mit feministischen oder sozialwissenschaftlichen Umweltverständnissen – es sind keine schlechten Lebens- oder Jobbedingungen gemeint. [...] Vielmehr konzeptualisiert die Epigenetik Umwelt als eine individuelle Umwelt, genauer: als eine Umwelt die individuell durch ›Wahl‹ gestattet werden kann und soll – in diesem Fall durch Rauchen, Ernährung, pränatale Ernährung oder individuelle Stressreduktion. Epigenetik nimmt an, dass diese ›individuellen Lifestylepraktiken‹ in epigenetische Marker übersetzt werden und die Genregulation beeinflussen.« (Kalender 2015: 260, H.i.O.)

Trotz der berechtigten Einwände argumentiere ich, dass es nicht möglich ist, die epigenetische Forschungslandschaft eindeutig zu bewerten. Vielmehr zeichnet sie sich durch eine ambivalente Gleichzeitigkeit aus, wie ich noch ausführen werde (5. Kapitel). Ambivalenzen in den Beurteilungen des Feldes zeigen sich auch in sozial- und geisteswissenschaftlichen Diskussionen über Epigenetik, in denen sich sowohl Begeisterungen als auch Befürchtungen artikulieren.

Epigenetik genießt nicht nur großes fachliches und öffentliches Interesse, sondern erregt in den letzten Jahren auch Aufmerksamkeit in anderen als bloß naturwissenschaftlichen Kreisen. So gibt es neben den unzähligen epigenetischen Publikationen zunehmend Literatur aus sozial-, kultur- und geisteswissenschaftlichen sowie wissenschaftstheoretischen Bereichen, die Epigenetik zum Gegenstand ih-

rer Analysen machen. Neben zahlreichen Artikeln und einigen Monographien (vgl. Squire 2017), erscheinen Sammelbände (vgl. Lux, Richter 2014a; Heil et al. 2016) und Schwerpunktheft von Zeitschriften (vgl. Lux, Richter 2012, 2015; Witherington, Lickliter 2017) zur epigenetischen Forschung. Am Anfang der meisten Auseinandersetzungen mit Epigenetik steht das Interesse an einem naturwissenschaftlichen Feld, das sich auf verschiedene Weise und in variierendem Ausmaß der Umwelt öffnet und biologische Prozesse nicht isoliert betrachtet. Zahlreiche Autor_innen scheinen zunächst optimistisch auf die epigenetische Forschungslandschaft und erwartungsvoll auf eine holistische und plastische Biologie zu blicken, die komplexere Zusammenhänge in den Blick nimmt.

»To researchers interested in social, racial, and gender justice, the epigenetic dimension seems to hold exciting promise to free us from the idea that we are what our genes make us and enable us instead to identify those factors beyond genetics that shape us to become who we are.« (Squire 2017: 1)

Zugleich formulieren einige Autor_innen ihre eher skeptische Haltung, wie etwa Sigrid Weigel allgemeiner über die Öffnung naturwissenschaftlicher Felder artikuliert:

»Nahezu schockartig sehen sich viele Geisteswissenschaftler heute mit einer Situation konfrontiert, in der nicht nur Life Sciences, Hirnforschung und Nanotechnologie zu Leitwissenschaften avanciert sind, sondern in der diese sich mit empirischen Methoden solcher Gegenstände annehmen, die über lange Zeit ins angestammte Gebiet der Geisteswissenschaften gehörten« (Weigel 2006: 12).

Problematisch daran sei es, so Weigel weiter, dass dabei aktuell »der Versuch unternommen [werde, L.K.], sich des sogenannten »subjektiven Faktors« zu entledigen und beispielsweise kognitive und psychische Prozesse über die Messung neuronaler oder molekularer Daten zu erfassen« (ebd., H.i.O.).

Im Fokus dieser Hoffnungen und Sorgen steht die Frage nach dem Zusammenwirken von Natur und Kultur, das hier in verschiedenen Formen – zum Beispiel Gen/Umwelt, Biologie/Soziales, Körperinnen/Körperaußen, Anlage/Prägung – auftaucht und befragt wird. Viele Autor_innen sehen in (umwelt-)epigenetischen Forschungen großes Potenzial für ein Umdenken reduktionistischer und (gen-)deterministischer Logiken hin zu anti-binären und holistischen Erklärungsmustern. Zugleich bringen alle Autor_innen kritische Analysen hervor und weisen auf verschiedene Probleme hin, die zunächst gelöst werden müssten und eine Perspektiverweiterung notwendig machen. Lisa Weasel artikuliert die Ambivalenz des Feldes:

»Although what might be called the »weak« epigenetic program tinkers only slightly with the reductionist genomic paradigm, asserting that epigenetic

›marks‹ atop the fixed genome merely fine-tune its singular expression, on a deeper level, a stronger version of the science of epigenetics holds more revolutionary implications for re-imaging the relationship entwined and emerging out of naturecultures, and the political potentials of such.« (Weasel 2016: 108, 109, H.i.O.)

Mit dem Interesse daran, was in der Epigenetik mit der Differenzsetzung von Natur und Kultur passiert, ist die Frage verbunden, inwiefern sich hier andere als deterministische Argumentationsmuster zeigen.

Vor dem Hintergrund eines vorherrschenden Gendeterminismus fragen sich einige, ob Epigenetik davon Abstand nimmt, da hier der Umwelteinfluss auf Genregulation fokussiert wird. Auch wenn unterschiedliche Begrifflichkeiten und Fokusse in Bezug auf diese Frage gefunden werden – während Sebastian Schuol einen verdeckten Gendeterminismus diagnostiziert (vgl. Schuol 2016: 52), spricht David Moore von epigenetischem Determinismus (vgl. Moore 2017: 73) – so kommen doch viele Autor_innen zu dem Schluss, dass sich epigenetische Forschungen trotz ihrer Öffnungen weder der Differenzsetzung von Natur/Kultur noch deterministischen Logiken vollständig entledigen. Im epigenetischen Diskurs steht nicht mehr das Gen im Fokus, sondern komplexe Prozesse, die darüber hinaus ablaufen und Einfluss auf Entwicklung und Gesundheit haben. Nichtsdestotrotz bewegt sich das heterogene Feld zumeist in der Tradition reduktionistischer Experimentallogik. Und so werden vielfach deterministische Argumentationen gefunden, wie Miranda Waggoner und Tobias Uller schreiben:

»While language about epigenetics may tout this new anti-determinist direction, it may simultaneously promote a novel form of determinism, one that highlights the ›influential‹ role of environment and behavior in determining individual characteristics and even the expressed genetic code of future generations.« (Waggoner, Uller 2015: 178, H.i.O.)

Epigenetik verbleibt also durchaus in traditionell naturwissenschaftlichen Konzepten, so das vielfache Urteil.

Wie im 2. Kapitel erwähnt, ist ›programming‹ ein verbreiteter Begriff in der Epigenetik und schon bei Waddington zu finden (vgl. Waddington 1968: 525). Die Vorstellung, molekularbiologische Prozesse laufen als Programme ab, fand inzwischen Einzug in viele Felder der Biologie, auch der epigenetischen Forschung, wie Müller et al. kommentieren: »the metaphor of ›programming‹, which is misleading in that it implies that the phenotypic outcome is determined by a programme, rather than being affected by a range of environmental factors over a sustained period« (Müller et al. 2017: 3, 4, H.i.O.). Sie kritisieren, dass durch die Bezeichnung als Programmierung Körper so verstanden werden, dass in ihnen etwas abgerufen wird und dann nach einem vorbestimmten Programm abläuft. Dies rückt ab von

der Vorstellung, dass körperliche Prozesse unterschiedlich reagieren und antworten können.¹

Robert Lickliter und David Witherington kommen in ihrer Analyse zu dem Schluss, dass vor allem zwei reduktionistische Erklärungsmuster vorzufinden sind, wenn es um die Erforschung von Entwicklungsprozessen in der Epigenetik geht: erstens eine stark mechanistische Sprache, in der mit Hilfe von statistischen Ansätzen komplexe Interaktionen erklärt und mittels algorithmischer und computerbasierter Sprache beschrieben werden (vgl. Lickliter, Witherington 2017: 129, 130), und zweitens eine »molecularization of the nurture side of nature-nurture relations« (ebd.: 126). Gemeint ist hier, dass in einer spezifischen naturwissenschaftlichen Logik auch Umweltphänomene eingeordnet und formalisiert werden, um sie der Experimentallogik entsprechend handelbar zu machen.

Um die Risiken und Potenziale auszuloten, die neuere Forschungen in der Epigenetik in Bezug auf die Differenzsetzung von Natur/Kultur und reduktionistische Perspektiven beinhalten, beschäftigen sich einige Wissenschafts- und Geschlechterforscher_innen intensiv mit der Frage, wie Umwelteinflüsse hier nun konzeptualisiert und erforscht werden. Einerseits öffnet sich die Umweltepigenetik Einflüssen außerhalb der Körper und interessiert sich dezidiert für das Zusammenspiel der verschiedenen Faktoren. Dadurch, dass nun komplexe Kontexte wie zum Beispiel Lebensbedingungen berücksichtigt werden, bringt die umweltepigenetische Forschung einen »embedded body« (Niewöhner 2011: 289, H.i.O.) hervor, der auf all die Aspekte hinweist, die nicht allein biologische Prozesse erklären können. Vielmehr würden Körper nun als eingebettet in ihrer Umwelt wahrgenommen und nicht als loslösbar von dieser. Andererseits ist zu beobachten, dass mit dem Versuch, Umwelteinflüsse zu operationalisieren, eine »molecularisation of biography and milieu« (ebd.: 291, H.i.O.) einhergeht und somit eine starke Reduktion komplexer Einflussgrößen. Lux weist auf etwas ähnliches hin, wenn sie schreibt, dass die epigenetische Forschung zu einer »stärkeren Physiologisierung und sogar Molekularisierung des psychischen Traumas« (Lux 2014: 102) führen kann,² wenn traumatische Erfahrungen zwar als Einflussfaktoren anerkannt, aber ausschließlich in eine molekularbiologische Ebene übersetzt relevant gemacht werden.

1 Auch die Biologen Mark Hanson und Peter Gluckman formulieren eine ähnliche Kritik an der Verwendung des Begriffs »programming«: »It seems probable that all three types of response – developmental disruption, immediate, and predictive adaptation – have been included under the rubric of »programming«. We do not find this term helpful as it still echoes its use for the genetic programme of development (Jacob & Monod, 1961) and has deterministic connotations which are not compatible with the more plastic nature of developmental gene–environment interactions in the induction of phenotype.« (Hanson, Gluckman 2005: 29, H.i.O.)

2 Lux bemüht sich in ihrem Artikel um eine differenzierte Betrachtung der Verwendung der Begriffe Trauma und Vererbung in der Epigenetik (vgl. Lux 2014).

Nicht nur soziale Erfahrungen, sondern auch der Einfluss von Ernährungsweisen wird stark vereinfacht und in mechanistischer Sprache und molekularbiologischer Logik übersetzt, wie Hannah Landecker in ihrer Auseinandersetzung mit Nutri-Epigenetik problematisiert. Landecker geht es darum zu zeigen, wie Nahrung hier stellvertretend für »die Umwelt« steht (vgl. Landecker 2011: 168) und im epigenetischen Experiment dafür operationalisiert wird. Sie führt aus, dass Nahrung übersetzt wird in »a set of significant molecules that have certain measurable effects on gene expression.« (ebd.: 183) Zugleich wird die Ernährungsumwelt als Repräsentantin für die Umwelt gesehen, in der sich zukünftige Organismen zurechtfinden müssen. Nahrungsquellen und Ernährungsweisen, denen Lebewesen ausgesetzt sind, würden ihre Umwelt widerspiegeln und seien für ihre Nachkomm_innen relevant, so die Forschung. Landecker sieht hier die Verbindung körperinnerer und körperäußerer Prozesse und Bedingungen:

»This is a model in which food enters the body and in a sense *never leaves it*, because food transforms the organism's being as much as the organism transforms it. It is a model for how social things (food, in particular) enter the body, are digested, and in shaping metabolism, become part of the body-in-time, not by building bones and tissues, but by leaving an imprint on a dynamic bodily process.« (ebd.: 177, H.i.O.)

Ernährung wird also einerseits auf eine molekularbiologische Ebene runtergebrochen und steht andererseits für komplexe Lebensbedingungen.

Eine zentrale Rolle nehmen dabei – wie in vielen Teilgebieten der epigenetischen Forschungslandschaft – Mütter ein. Welche Nahrung Mütter während und zum Teil auch schon vor einer Schwangerschaft zur Verfügung haben, gilt nicht nur für die Entwicklung des Fötus als relevant, sondern auch für sein späteres Leben: »in the framework proposed by nutritional epigenetics, nutrients in themselves or as determinants of maternal metabolism are information about the world that a body will be born into or grow up to inhabit.« (ebd.: 190)

Dass vermehrt der Fokus auf den Einfluss durch den mütterlichen Körper gelegt wird, problematisieren einige Autor_innen.³ Martha Kenney und Ruth Müller führen aus, dass der Einfluss mütterlichen Pflegeverhaltens ein verbreitetes Thema in der Epigenetik ist und dabei viele geschlechtliche Stereotype beinhaltet (vgl. Kenney, Müller 2017). Das zeigt zum Beispiel die Studie von Vre Casamadrid et al., in der es heißt: »Obesity in pregnancy has harmful effects on maternal health. Moreover, the mother's increased adiposity has been suggested to influence the

3 Die Anzahl derjenigen Studien, die sich mit väterlichem Einfluss beschäftigen, ist übersichtlich. Einige Epigenetiker_innen untersuchen die Rolle von Sperma bei der Übertragung epigenetischer Marker (vgl. z.B. Ritchie, Marshall 2013; Gapp et al. 2014, S. 4.5; Su-Keene et al. 2018, S. 8.4; Thorson et al. 2021).

programming of metabolic pathways in the fetus, predisposing it to cardiovascular disease and diabetes due to epigenetic mechanisms.« (Casamadrid et al. 2016: 38) Wie sich die (werdende) Mutter verhält, habe großen Einfluss auf die Gesundheit des Kindes, so die Studie. Die Betonung der mütterlichen Rolle und Verantwortung findet sich häufig in Tierstudien, aber auch explizit mit Bezug auf Menschen. Dass diese Differenzpraxen in umweltepigenetischen Studien nicht nur vergeschlechtlicht sind, sondern auch die Grenze zwischen menschlich und nicht-menschlich verschieben, zeige ich im 8. Kapitel.

Bärbel Mauss arbeitet aus feministischer wissenschaftskritischer Perspektive zum Phänomen des Genomic Imprinting (s. 2.2), das in Zusammenhang mit epigenetischen Vererbungsmechanismen erforscht wird. Sie problematisiert, dass Geschlecht hier auf Ebene der DNA eingeschrieben und Zweigeschlechtlichkeit naturalisiert wird und dieses Modell epigenetischer Vererbung sehr heteronormativ ist (vgl. Mauss 2004: 150, 158). Trotz des in diesem Zusammenhang oftmals angeführten Bildes des Geschlechterkampfes oder elterlicher Konkurrenz auf Ebene der Gene, sieht sie hier zugleich eine Loslösung von stereotypen Geschlechterbildern, nach denen der Frau die passive und dem Mann die aktive Rolle zugeschrieben wird. Auch Sigrid Schmitz und ich haben diskutiert, inwiefern dieses sehr binär funktionierende Konzept des Genomic Imprinting Brüche aufweist und somit Umdeutung zulässt (vgl. Krall, Schmitz 2016). Einen Bruch sahen wir in der Beschreibung, dass (viele) Nachkomm_innen nicht entwicklungsfähig sind, wenn nur ein Allel aktiv ist, denn dann »kann es gar nicht zu elterlichen, heterosexuellen Verbindung der Allele kommen« (ebd.: 107). Ist beim Genomic Imprinting nur ein Allel aktiv, wird dies mit Erkrankungen und Normabweichungen in Verbindung gebracht. Eine gescheiterte heteronormative Verbindung von Allelen führt also zu Pathologisierungen, schlussfolgerten wir und auch schon Mauss, da »nur bei heterosexueller Verbindung der Allele von einer normalen Entwicklung ausgegangen wird und sich somit Heteronormativität auf der Ebene des Genoms verfestigt.« (ebd.)

Sarah Richardson konstatiert die heteronormative und sexistische Logik in der Epigenetik und dass Mütter als die Hauptverantwortlichen für Gesundheit und Wohlergehen des Nachwuchses gefestigt werden und dies überwiegend in Zusammenhang mit negativen Gesundheitsfolgen erforscht wird. Aus diesem Grund gehe es in epigenetischen Studien häufig um Interventionen an mütterlichen Körpern und es würde diskutiert, wie dieser zu formen sei, damit das Bestmögliche für die Nachfahr_innen gegeben ist. Den Müttern wird somit eine besondere Verantwortung zugeschrieben und das mit ihrer spezifischen Rolle legitimiert:

»Epigenetic research on maternal effects advances a model of human inheritance and development in which the wider social and physical environment can be seen as heritable and as a determinate of future biomedical outcomes via discrete

biochemical modifications introduced by the amplifying vector of the maternal body.« (Richardson 2015: 225)

Der mütterliche Körper wird in der Epigenetik demnach als Überträger von biochemischen Veränderungen, die durch Umwelteinflüsse bedingt sind, konzipiert. Meines Erachtens steht die Mutter dann als Überträgerin zwischen körperinneren und körperäußeren Prozessen, zwischen Vergangem und Zukünftigem. Auch die Besonderheit solcher Zwischenpositionen, Überträgerinnen oder Vermittlerinnen in der Umweltepigenetik werde ich weiterverfolgen.⁴

Landecker sieht die durch Essen ausgelösten Stoffwechselprozesse als Zwischenstück und damit verbundene Neuordnungen:

»This is not a collapse of inside and outside because everything is molecular, but a rearrangement of interrelation. This rearrangement links gene regulation by food directly to social regulation to food, because both are part of a network that connects the human food environment to subcellular circuits of methyl groups and action at the surface of DNA through the intermediation of metabolism.« (Landecker 2011: 180)

Faktoren wie die Mutter oder Nahrung erscheinen somit nicht nur als Umwelteinfluss, sondern nehmen auch eine Vermittlerinnenrolle und Position zwischen scheinbar getrennten Sphären ein.

Ein weiterer zentraler Aspekt, der vor allem in der Diskussion des Einflusses der Mutter anklingt, ist die Verantwortung. Wie viele neuere biomedizinische Diskurse kann auch die epigenetische Forschung leicht herangezogen werden, um die persönliche und individuelle Verantwortung für gesundheitsförderndes Verhalten zu betonen. Gefragt und diskutiert wird beispielsweise: Wenn epigenetische Prozesse, die Krankheiten regulieren können, durch äußere Komponenten beeinflussbar sind, gibt es dann gesundheitsförderliches Verhalten und sollten alle verpflichtet werden, dieses einzuhalten? Schließlich geht es hier nicht nur um die eigene Gesundheit, sondern auch um die der nachfolgenden Generationen. So werden (populär-)wissenschaftliche Debatten darüber geführt, welche gesundheitsschädigenden Verhaltensweisen es gibt und ob diese sanktioniert werden sollten, welche Verantwortung dabei das öffentliche Gesundheitssystem und welche das Individuum trägt. Maria Hedlund argumentiert nun dafür, insgesamt von Appellen an die individuelle Verantwortung abzurücken, denn »epigenetic responsibility primarily should be a political and not an individual responsibility.« (Hedlund 2012:

4 Dass die Mittlerinnenposition zentral ist für Epigenetik, habe ich in Krall (2017) und Krall (2018) angedacht, dort aber noch keiner so umfassenden Analyse unterzogen, wie in der vorliegenden Arbeit.

171) Wenn epigenetische Forschungen zeigen, dass auch Umwelteinflüsse wie Lebensbedingungen oder Erfahrungen über die Genaktivität auf die Gesundheit wirken, dann sei das eine fundierte Grundlage, um für eine breitere, gesellschaftliche Verantwortung zu plädieren und politische Akteur_innen zu bewegen, strukturelle Ungleichheiten abzubauen. Hedlunds Vorschlag findet bisher allerdings wenig Verbreitung.

In eine ähnliche Richtung argumentieren Chris Kuzawa und Elisabeth Sweet, die eine Chance sehen, von epigenetischen Forschungsergebnissen zu ungleichen Lebensbedingungen und Diskriminierungserfahrungen – sie konzentrieren sich in ihrem Review auf afroamerikanische Frauen – gesellschaftspolitische Forderungen ableiten zu können. Die beiden Anthropolog_innen zielen vor allem darauf ab, neuere epigenetische Erkenntnisse für Diskussionen über rassistische Ungleichbehandlungen und damit verbundene Implikationen für gesellschaftliche Bereiche wie den Gesundheitssektor aufzuzeigen (vgl. Kuzawa, Sweet 2009: 1). Weniger Möglichkeiten und mehr Risiken durch epigenetische Forschungen arbeiten Becky Mansfield und Julie Guthman heraus, die hier neue Möglichkeiten eugenischer Argumentationsmuster diagnostizieren und eine rassifizierte Normalisierung beobachten:

»Emerging now is a new, more plastic form of eugenics, one that is about marking an increasing range of difference as disruption and abnormality and then seeking to cure people of these differences. In the name of optimization and elimination of biological ›disease‹, current epigenetic science promotes the elimination of bodily difference toward a privileged, idealized, and white norm.« (Mansfield, Guthman 2015: 16, H.i.O.)

Um produktiv daran anzuknüpfen, dass epigenetische Forschung auch nicht-deterministische Perspektiven eröffnet, unternehmen Wissenschaftler_innen den Versuch, gemeinsame Projekte durchzuführen. Inzwischen gibt es einige Beispiele interdisziplinärer Kooperationen, in denen Epigenetiker_innen und Personen aus anderen Disziplinen zusammen forschen. Damit wird der oftmals verkürzten oder simplifizierten Betrachtung und Erforschung komplexer Umwelteinflüsse entgegengewirkt und das Wissen und die Methoden ganz unterschiedlicher Perspektiven und Disziplinen werden vereint. Symposien wie das 2012 an der Universität Wien ausgerichtete »Epigenetics, Society, Gender« oder der 2017 an der LMU München initiierte Workshop sind Beispiele dafür (vgl. Müller et al. 2017). Schmitz beschreibt die Möglichkeiten und Grenzen des Austausches auf dem von ihr veranstalteten Symposium »Epigenetics, Society, Gender« und sieht vor allem in den unterschiedlichen Wissenschaftsverständnissen und methodischen Gepflogenheiten die größten Schwierigkeiten für ein produktives Zusammenkommen (vgl. Schmitz 2015: 242).

Ich habe gezeigt, dass viele Autor_innen abwägen, was sich eröffnet und ermöglicht und was zugleich problematisch, zum Beispiel reduktionistisch oder deterministisch, bleibt. Einige Personen scheinen die Ansicht zu vertreten, dass es sich lohnt, genauer hinzuschauen und herauszufinden, welche Perspektiven hier außerdem enthalten sind. Neben den kritischen Analysen gibt es auch Vorschläge, diese stärker herauszuarbeiten. So verstehe ich auch Lickliter und Witherington, wenn sie schreiben:

»Epigenetic processes are emergent properties of historical and situated relations across multiple levels of biological organization. This inclusive perspective on epigenetics provides a framework to describe and analyze dynamic processes at many levels of organization, without an implicit bias about what factors/parts of the system are driving or controlling the process. We term this approach developmental epigenetics.« (Lickliter, Witherington 2017: 131)

Der Vorschlag von Richard Lerner und Willis Overton, die im gleichen Heft der Zeitschrift *Human Development* publiziert haben, geht in eine ähnliche Richtung. Auch sie sehen Potenzial im Feld, schlagen aber vor, bestimmte Begriffe zu ersetzen, um Abstand zu gewinnen von einer reduktionistischen und gendeterministischen Tradition und, die Wechselbeziehungen, für die sich vor allem Umwelt-epigenetiker_innen interessieren, stärker zu betonen. So wollen sie beispielsweise den Begriff »Interaktion« ersetzen, da er die cartesianische Vorstellung von zwei separaten Entitäten unterstützen würde, und schlagen stattdessen vor, von »interpenetrations« oder »coaction« (Lerner, Overton 2017: 109) zu sprechen. Auch ich argumentiere, dass in der Umweltepigenetik andere Anordnungen angelegt sind.

4. Entwicklung analytischer Anhaltspunkte. Erste empirische Phase

Die vorangegangenen Kapitel haben verdeutlicht, dass es sich bei Epigenetik um ein heterogenes Forschungsfeld handelt, das Hoffnungen weckt auf eine Perspektivverschiebung hin zu komplexen Gen/Umwelt-Interaktionen. Damit entspricht die Epigenetik einer Entwicklung, die vielfach in Naturwissenschaften zu beobachten ist: »Im Kontext biowissenschaftlichen Wissens erscheint einerseits die Grenze zwischen Natur und Gesellschaft immer weniger als selbstverständlich und unhinterfragter Ausgangs- und Bezugspunkt und Lebensprozesse werden zunehmend als interventionsoffen und gestaltbar begriffen.« (Lemke 2013: 15, 16) Andererseits entfachen Diskussionen darüber, welche Risiken jene Grenzverschiebungen bergen. Zur Beantwortung meiner Frage danach, wie ein biowissenschaftlicher Bereich in Bezug auf Differenzsetzungen zu beurteilen ist, der sich nicht nur auf die Seite der Natur konzentriert, sondern auch Kultur mit einbezieht, der Gene in ihrem Zusammenspiel mit Umwelten erforscht und Körperinneres nicht komplett isoliert von Körperäußerem betrachtet, fokussiere ich mich im Folgenden auf *umweltepigenetische Studien*. Aus der Sichtung von Literatur aus und über (Umwelt-)Epigenetik ergeben sich sechs zentrale Anhaltspunkte, die in dieser ersten empirischen Phase weiterverfolgt werden:

- das Zusammenspiel von Genen und verschiedenen Umwelteinflüssen
- Anpassungs- und Antwortfähigkeiten (»response«) sowie Plastizität
- Changieren zwischen Offenheit gegenüber Umwelteinflüssen und (Gen-)Determinismus
- Prozesse zwischen Geno- und Phänotyp sowie Epigenetik als Mittlerin oder Überträgerin
- die besondere Rolle von Müttern
- Fachkontroversen und Wissenslücken

Im Anschluss an das 2. und 3. Kapitel, in denen ich einen Überblick über das Forschungsfeld der Epigenetik gegeben und mich mit wissenschaftstheoretischen und feministischen Analysen des Feldes beschäftigt habe, werde ich mich nun mit vier

umweltepigenetischen Studien auseinandersetzen. Anhand dieser Forschungsarbeiten näherte ich mich weiter dem Feld und das in diesem Kapitel noch ohne eine explizit Barad'sche Methodologie. Es ist unmöglich, meine Beschäftigung mit Barad vollständig auszublenden, doch konzentriere ich mich hier explizit darauf, welche Anknüpfungspunkte sich aus dem Feld selbst für meinen Forschungsfokus ergeben und orientiere mich dabei an wissenschaftskritischen Textanalysen. Meine Annahme ist, dass die Umweltepigenetik keine eindeutige Bewertung dahingehend zulässt, ob sich das Feld tatsächlich öffnet und dadurch von binären Differenzsetzungen und reduktionistischen Erklärungsweisen löst oder nicht, und dass in dieser Ambivalenz andere Anordnungen angelegt sind. Die Zuwendung zu umweltepigenetischen Studien erlaubt einen direkteren Zugang zum Feld, als es die Darstellung und Diskussion von Fachliteratur (2. Kapitel) tut. Obgleich sie nicht so nah an den Untersuchungen zu sein scheinen wie etwa eine Laborethnographie (vgl. Knorr-Cetina 1995), bieten die Studien passendes Material zur Einschätzung des Feldes. Schließlich sind sie Resultat von Forschungsprozessen und Basis fachlicher Aushandlungen und Entwicklungen. Ich folge an dieser Stelle keiner spezifischen Methode wie etwa einer Inhalts-, Diskurs- oder Metaphernanalyse, sondern führe Textanalysen entlang der zuvor erarbeiteten Anhaltspunkte und daraus entwickelter Fragen durch, die sich an Vorgehensweisen feministischer Wissenschaftskritik (vgl. Bauer 2006) orientieren. Ein spezifisches method(olog)isches Vorgehen zu entwickeln, um den ambivalenten Gleichzeitigkeiten in der Umweltepigenetik nachzuspüren und dabei neue Anordnungen herauszuarbeiten, ist Gegenstand des zweiten Teils der Arbeit (6.-9. Kapitel). In der Pilotphase befasste ich mich anhand von Studien mit der epigenetischen Forschungspraxis, die es ermöglichen, Themen- und Begriffswahl, Argumentationsweisen sowie Methoden der jeweiligen Untersuchungen nachzuvollziehen, und so Zugänge zu facettenreichen Anordnungen im Feld eröffnen.

In 2.3 hatte ich vor allem zwei Forschungsschwerpunkte aus dem Teilgebiet der Umweltepigenetik vorgestellt. Die Auseinandersetzung mit Studien aus dem Bereich Nutri-Epigenetik und mit umweltepigenetischen Untersuchungen aus Hirn- und Traumaforschung vertiefte ich nun indem ich im Folgenden zunächst drei Forschungsarbeiten analysiere, die bereits in 2.3 angeführt wurden (Kaati et al. 2002; Weaver et al. 2004; McGowan et al. 2008) und anhand derer ich die oben genannten Anhaltspunkte herausarbeiten konnte. Diese Studien sind prominent vertreten in epigenetischer Überblicksliteratur und werden oft genannt, zum Teil explizit als zentrale Forschungsarbeiten, die das heutige Feld geprägt haben (vgl. Niewöhner 2014: 259). Die vierte Studie (Gapp et al. 2014) stammt von einem Forscher_innenteam um Isabelle Mansuy, die ebenfalls im 2. Kapitel Erwähnung fand. Es geht hier nicht darum, so etwas wie eine repräsentative Auswahl für das Feld treffen zu können, denn es gibt eine unüberschaubare Anzahl internationaler Studien. Da

Mansuy zu den bekannten Forscher_innen im Feld zählt,¹ ist aber davon auszugehen, dass die vier Studien mindestens zu einem gewissen Grad widerspiegeln, was aktuell in den umweltepigenetischen Teilgebieten erforscht und verhandelt wird. Alle vier Studien sind in renommierten Fachzeitschriften erschienen. Mit der Analyse jener vier Studien wird eine exemplarische Auswahl von umweltepigenetischen Untersuchungen analysiert, die verschiedenartige körperäußere Umwelteinflüsse erforschen. Um zu prüfen, welche weiteren Tendenzen sich im Feld zeigen, ziehe ich die vier Studien für eine intensive Textanalyse heran. Ziel der Pilotphase ist es, meine Befunde aus dem 2. und 3. Kapitel zu spezifizieren und zu konkretisieren und darüber hinaus weitere Aspekte zu sammeln, die aus den Studien selbst stammen. So steht im Anschluss an dieses Kapitel eine Aufstellung zentraler Merkmale des Feldes, die in das diffraktive Lesen einfließen.

4.1 Zum Untersuchungsgegenstand naturwissenschaftlicher Studien. Charakteristische Merkmale nach Karin Knorr-Cetina

Umweltepigenetische Studien nehmen eine besondere Bedeutung in meiner Untersuchung ein, da sie Hauptgegenstand meiner Auseinandersetzung mit dem Feld sind und einen Zugang zur Forschungspraxis ermöglichen. Aus diesem Grund wird zunächst diese spezifische Textgattung vorgestellt. Die Studie ist das übliche Format, um Forschungsergebnisse einer breiten Öffentlichkeit zugänglich und die eigene Forschung bekannt zu machen. Es unterliegt dabei einer speziellen Logik. So gleichen sich die meisten als Paper veröffentlichten Studien in Aufbau und Funktion ihrer einzelnen Abschnitte. Im Folgenden werde ich einige Merkmale naturwissenschaftlicher Publikationen experimenteller Studien vorstellen, die sich auch in den von mir bearbeiteten Papern wiederfinden, und mich dabei auf die Ausführungen von Karin Knorr-Cetina (2016) beziehen.²

Sowohl der Aufbau der ersten Seite als auch der Aufbau der verschiedenen Textteile naturwissenschaftlicher Studien folgt einem typischen Muster. Zunächst stehen Informationen zu Autor_innen und deren Institutionen, Name der Zeitschrift und Themengebiet sowie Titel des Papiers. Darauf folgt in einem Abstract eine kurze Zusammenfassung der Forschung sowie der Ergebnisse. Daran schließt die Einleitung an. Standardformat naturwissenschaftlicher Studien³ ist dann die Abfolge

-
- 1 Neben ihren Studien und fachwissenschaftlichen Publikationen hat sie zum Beispiel einen Beitrag in dem interdisziplinären Sammelband *Kulturen der Epigenetik* (Lux, Richter 2014a) verfasst.
 - 2 Knorr-Cetina spricht vom wissenschaftlichen Papier. Ich nutze überwiegend die Bezeichnung »Studien«.
 - 3 Knorr-Cetina bezieht sich hier auf die USA (vgl. Knorr-Cetina 2016: 185). Das Format hat jedoch weitere Verbreitung gefunden.

der Abschnitte »Material und Methoden« und »Ergebnisse und Diskussion«, gefolgt von Literaturverzeichnis und »Acknowledgements«. Tabellen und Abbildungen stehen häufig am Schluss.

Der Einleitung kommt die Rolle zu, kurz und allgemein ins Thema einzuführen und die Relevanz der Forschung zu verdeutlichen: »Zusammenfassend besteht die Rolle der *Einleitung* eines wissenschaftlichen Papiers darin, diese *Relevanz* durch die (Re-)Konstruktion eines *vorhergehenden Stadiums* und einer *Entwicklungsrichtung* des Diskurses, in den es sich eingliedert, zu *inszenieren*.« (Knorr-Cetina 2016: 207, H.i.O.) Der Bezug zum aktuellen Forschungsstand ordnet die eigene Forschung darin ein und veranschaulicht, was diese »Neues« liefern kann.

Einblicke in den Forschungsprozess ermöglicht die Studie nur in den Abschnitten »Material und Methoden« und »Ergebnisse und Diskussion«, so Knorr-Cetina. Im »Methoden und Material«-Teil wird ein protokoll-artiger Bericht des Vorgehens im Labor gegeben. Er besteht aus Firmenbezeichnungen, Instrumenten und Verfahren und wirkt daher wie ein »Rezept« (ebd.: 214). Es gibt keine Informationen über Laboraufgaben, sondern »eine Art von Liste aufeinander folgender Schritte.« (ebd.) Dies lässt wenig Rückschlüsse auf Entscheidungen und Aushandlungen der Forschenden oder Ressourcen zu, aber Knorr-Cetina betont: »Jede Bezugnahme auf ein Instrument oder eine chemische Substanz im Abschnitt *Material und Methoden* repräsentiert ebenso wie jede Zahlenangabe das Ergebnis einer technisch legitimierbaren Wahl.« (ebd.: 216, H.i.O.) Im Papier erscheint es aber weniger als Produkt spezifischer Bedingungen und Entschlüsse, sondern vielmehr als Resultat eines gradlinigen Forschungsprozesses, der einem eindeutigen und klaren Ablauf folgt und zu eindeutigen Ergebnissen führt.

Auch im Ergebnis- und Diskussionsteil werden keine Entscheidungsprozesse oder andere Einblicke in das Laborgeschehen gegeben. Es finden sich aber auch nicht wie im vorherigen Teil »rezeptartig aneinandergereihte Verfahrensschritte« (ebd.: 224). Charakteristisch für diesen Abschnitt sind vielmehr »Ähnlichkeits- und Differenzaussagen, vermischt mit gelegentlichen vergleichenden Evaluierungen.« (ebd.) Anstelle von Schlussfolgerungen finden hier eher Vergleiche mit anderen Studien statt. Knorr-Cetina beschreibt, dass »der Abschnitt *Ergebnisse und Diskussion* die im Labor vorherrschende Interdependenz zwischen Methode und Resultat in wirksamer Weise leugnet, in dem er die Resultate *nicht zu ihrem Erzeugungsprozeß, sondern zu anderen Resultaten* in Beziehung setzt.« (ebd.: 227, H.i.O.) Die eigene Forschung wird somit wieder in einen größeren Forschungskontext eingeordnet und als Beitrag für den Forschungsstand präsentiert.

Knorr-Cetina interessiert sich in ihren Ausführungen vor allem für das Verhältnis von Laborgeschehen und wissenschaftlichem Papier und stellt die Transformationsprozesse dar, die vom einen zum anderen stattfinden. Nach außen erscheinen beide voneinander trennbar. Der Studie wird dabei eine besondere Relevanz zugemessen: »Das wissenschaftliche Papier stellt das meist als ausschließ-

lich relevant erklärte Resultat eines Prozesses dar, in den wir normalerweise nicht eindringen können.« (ebd.: 175) Knorr-Cetina argumentiert, dass es sich beim Papier aber keineswegs um die Repräsentation des Forschungsprozesses und Laborgeschehens handelt, und zeigt so die soziale Konstruiertheit von Wissenspraxen und Erkenntnissen auf. Sie spricht von einer »Kluft [...] zwischen der Forschungsdynamik des Labors und der literarischen Dramatik des Papiers« (ebd.: 240) und vollzieht verschiedene Arbeitsschritte und damit einhergehende Transformationsprozesse nach: vom Laborgeschehen zum Forschungsprotokoll und über mehrere Versionen des Papers zur endgültigen Fassung. Deutlich wird so, dass letzteres nicht als »zusammenfassende Repräsentation« (ebd.) der Forschungsprozesse zu verstehen ist, sondern als Ergebnis dreier Strategien, der Typisierung, der Entkontextualisierung und der Objektivierung.

»Das Papier orientiert sich [...] an den autoritativen Schriften eines Spezialgebiets und nicht an den Laboranliegen, in denen es seinen Ursprung hat. Es orientiert sich an den Schriften *und* macht den Versuch, einen Teil von ihm effektiv zu eliminieren und durch den eigenen Beitrag zu substituieren.« (ebd.: 176, H.i.O.)

In der Darstellung der verschiedenen literarischen Strategien und (Arbeits-)Schritte beim Verfassen des Papiers wird deutlich, wie vielschichtig und facettenreich der Prozess des Schreibens ist. Das Laborgeschehen wird hier in einen neuen Kontext gesetzt. Die »literarische Produktionsweise« würde sich aber auch durch drei »Entkontextierungsstrategien« (ebd.: 241) auszeichnen. Dass (nur) bestimmte Ergebnisse präsentiert und passende Graphen und Abbildungen eingefügt werden, bezeichnet sie erstens als Eliminierungsprozess (vgl. ebd.): Auf dem Weg vom Forschungsgeschehen, über Forschungsprotokolle und verschiedene Versionen des Papiers werden manche Aspekte ausgewählt und andere gelöscht. Die zweite Strategie der Typisierung führt dazu, dass die Studie »eine normalisierte, durchschnittliche und starkt komplexitätsreduzierende Darstellung gibt.« (ebd.) Experimentelle Schritte werden hier dargestellt, als würden sie immer gleich ablaufen, und es scheint, als würden sich verschiedene Durchgänge nicht unterscheiden (vgl. ebd.: 220). Die Tatsache, dass es beim Forschen im Labor und beim Verfassen der Ergebnisse im wissenschaftlichen Papier zu Selektionen kommt, wird drittens mit der Entrationalisierungsstrategie ausgeblendet: Das Paper wirkt rational und wissenschaftlich, obwohl es keine technischen Begründungen für verschiedene Arbeitsschritte und (andere) Entscheidungen gibt (vgl. ebd.). Es findet also eine »Abkopplung der Forschungsergebnisse von ihrem Erzeugungsprozess« (ebd., H.i.O.) statt, was nach Knorr-Cetina vor allem der Objektivierung dient.

Um die Transformationsprozesse zu verstehen, ist es hilfreich, auf die verschiedenen Stadien der Verschriftlichung der Forschung zu schauen. Zu Beginn stehen meist ausführliche Forschungsprotokolle, mit Hilfe derer dann die Textproduktion erfolgt. Dabei sind die Protokolle informeller und viel umfassender. »Die meisten

Laboroperationen, die den im Paper präsentierten Entscheidungsergebnissen vorausgehen, hinterlassen ihre Spuren in den Laboratoriumsprotokollen der Wissenschaftler, in denen der technische Begründungskontext oft auf genaueste dokumentiert erscheint.« (ebd.: 216) Wie bereits oben erwähnt werden nun im Schreiben des wissenschaftlichen Papiers die Entscheidungen, die dazu führen, bestimmte Dinge auf spezifische Art und Weise zu untersuchen, nicht berücksichtigt. Was im Protokoll noch eine Rolle spielt, kann im Papier nicht mehr platziert werden, und so werden keine Angaben dazu gemacht, warum etwas ausgewählt wurde. Hier haben persönliche Interessen und Entscheidungen keinen Platz. Statt technischer Begründungen zur Auswahl der Instrumente und Bestandteile oder auch Problematisierungen wird Wert auf »Entpersonifizierung« (ebd.: 214) gelegt. Anstelle von Verhandlungsprozessen im Laborgeschehen stehen die Lesenden der Studie bloß »deren laktonisch formulierten Augenblicksergebnissen« (ebd.) gegenüber. Da sich das Schreiben an einem bestimmten Aufbau orientiert, ist es anders als das Laborgeschehen in klar getrennte Abschnitte geteilt. »Somit hält das wissenschaftliche Papier verschiedene Anliegen in den dafür vorgesehenen Unterteilungen sauber auseinander, im Gegensatz etwa zu den »gemischten« Inhalten, die wir im Labor vorfinden.« (ebd.: 185, H.i.O.)

Von einer ersten Version, die selektiv und nach einer bestimmten Abschnittslogik Aspekte des Laborprotokolls wiedergibt, bis zur finalen Fassung entstehen meist mehrere Ausführungen, die sich immer mehr vom ursprünglichen Entwurf entfernen. Nach Knorr-Cetina werden in der letzten Fassung Aussagen aus der ersten gelöscht, zum Beispiel, wenn die Forschenden Sorge haben, sich mit etwas angreifbar zu machen (vgl. ebd.: 191). Auch werden »Notwendigkeitsaussagen durch Möglickeitsaussagen und umfassendere Behauptungen durch weniger anspruchsvoll gestellte Behauptungen ersetzt« (ebd.). Aus klaren Thesen werden in der letzten Fassung zögerliche und zurückhaltende Aussagen (vgl. ebd.: 192). Weitere Transformationen finden schließlich im Austausch mit den Kommentaren der Gutachten statt, sobald die Studie bei der Zeitschrift, in der sie erscheinen soll, eingereicht ist. Damit sie auch veröffentlicht wird, muss sie häufig mehrfach überarbeitet und entsprechend der Kritik der Gutachten korrigiert werden.

Das Schreiben der Studie stellt also eine spezifische wissenschaftliche Praxis dar, an deren Ende eine meist wenige Seiten umfassende Publikation mit standardisierten Abschnitten steht. Was Knorr-Cetina als literarische Strategie und Konstruktion bezeichnet, nenne ich wissenschaftliche Textpraxis. Anders als Knorr-Cetina geht es mir nicht um das Verhältnis zwischen Laborgeschehen und Paper oder die zwischen beiden stattfindenden Transformationen und Rekonstruktionen. An Knorr-Cetinas Ausführungen zu den stattfindenden Transformationen wird aber deutlich, dass der wissenschaftliche Text nicht allein für sich stehen kann. Vielmehr ist er Ergebnis vielschichtiger Untersuchungs-, Selektions- und

Transformationsprozesse und kann somit selbst als wissenschaftliche (Text-)Praxis bezeichnet werden.

Im Folgenden werde ich vier Studien untersuchen. Dazu fasse ich zunächst zentrale Inhalte zusammen und beschreibe den Untersuchungsvorgang. In einem zweiten Abschnitt zeichne ich die Argumentationen der Studie nach und gehe den zu Beginn dieses Kapitels vorgestellten Anhaltspunkten sowie folgenden Fragen nach:

- Welches Verständnis von Epigenetik herrscht in der Studie?
- Welche Umwelteinflüsse werden untersucht und welche Rolle nehmen diese ein? Welche Folgen (z.B. phänotypische Veränderungen) werden daraus abgeleitet?
- Werden epigenetische Mechanismen als vermittelnd beschrieben oder welche anderen Positionen »dazwischen« gibt es?
- Welche zeitlichen Dimensionen fallen zum Beispiel in Bezug auf Vererbbarkeit oder Reversibilität auf?

Darüber hinaus werden weitere Besonderheiten und Auffälligkeiten zum Beispiel beim methodischen Vorgehen oder in der Begriffswahl jeder Studie herausgestellt. Keine Berücksichtigung in meiner Analyse finden die Abbildungen der Studien.

4.2 Kaati et al.: Mortality determined by (grand-)parents' nutrition

Die Studie »Cardiovascular and diabetes mortality determined by nutrition during parents' and grandparents' slow growth period« wurde 2002 von Gunnar Kaati, Lars Olov Bygren und Sören Edvinsson von der Universität Umeå (Schweden) im *European Journal of Human Genetics* veröffentlicht und umfasst sechseinhalb Seiten.

4.2.1 Zusammenfassung der Studie

Die Forschungsfrage von Kaati et al. lautet, ob ein übermäßiges Essen während einer bestimmten Phase vor der Pubertät – da Kinder hier nur wenig wachsen als »slow growth period« (SGP) bezeichnet – dazu führt, dass das Risiko der Nachkomm_innen, Herz-Kreislauf-erkrankungen und Diabetes zu bekommen und daran zu sterben, erhöht ist. Antworten darauf finden sie in Daten zur Nahrungsmittelknappheit in der nord-schwedischen Region Överkalix. Diese weisen darauf hin, dass die Unterernährung männlicher Heranwachsender während der SGP dazu führte, dass ihre Nachkomm_innen nur selten an Herz-Kreislauf-erkrankungen starben. Die Enkel derer, die hingegen ausreichend Essen während der SGP zur Verfügung hatten, starben häufiger an Diabetes. Die Forscher_innen vermu-

ten den Grund hierfür in einem mit der Ernährung verbundenen Mechanismus in der männlichen Erblinie (vgl. Kaati et al. 2002: 682).

Kaati et al. ziehen zahlreiche Untersuchungen heran, die den Zusammenhang von Ernährung und Wachstum sowie Gesundheit auf verschiedene Weise aufzeigen. Als ausschlaggebend für ihr eigenes Forschungsinteresse benennen sie die Annahmen von Anders Forsdahl, der 1977 erklärt hatte, dass Armut im Kinder- und Jugendalter den Organismus auf wenig Energiezufuhr programmiere. Der steigende Zugang zu Essen würde einige Herzkreislauferkrankungen erklären (vgl. Forsdahl 1977 in Kaati et al. 2002: 682). Die Studie von Kaati et al. untersucht nur das Zusammenspiel zwischen der Ernährung der Großeltern und der Größe der Enkelkinder und postuliert, dass epigenetische Vererbung für diesen Zusammenhang zentral sei. »The mechanism could be a specific response to the grandparents' nutritional state, which directly modifies the setting of the gametic imprint on one or more genes.« (ebd.)

Im Abschnitt »Materials and Methods« erläutern sie die Zusammensetzung ihres Materialkorpus: Aus den Daten zu Personen, die 1890, 1905 und 1920 in Överkalix geboren wurden, konnten sie die von 239 Proband_innen nutzen. Das schließt jeweils die Daten der Eltern und Großeltern mit ein (vgl. ebd.). Todesursache und -alter der Proband_innen haben sie offiziellen Statistiken entnommen. Kaati et al. identifizieren 123 Proband_innen, die an Herz-Kreislaufbeschwerden gestorben waren, und 19, die an Diabetes Mellitus starben. Diese bringen sie mit den Daten zu Nahrungsmittelknappheit und Ernteausfall in Zusammenhang und halten fest: Hatte der Vater wenig Zugang zu Nahrungsmitteln während seiner SGP, war sein Sohn vor Herz-Kreislauferkrankungen geschützt. Eine ähnliche Tendenz zeigte sich auch bei Unterernährung der Großmutter. Zudem waren die Proband_innen davor geschützt, wenn die Mutter während ihrer SGP viel Nahrung zur Verfügung hatte. Ähnliches zeigen sie für Personen, die an Diabetes starben, jedoch erhöhte sich deren Risiko, wenn die Großmutter Nahrungsmittelknappheit ausgesetzt war (vgl. ebd.: 685).

Die Autor_innen halten als zentrales Ergebnis fest, dass nahrungsbedingte Umstände transgenerationelle Effekte auf den Tod durch die männliche Linie haben (vgl. ebd.: 687): Nahrungsmittelknappheit der (Groß-)Väter während ihrer SGP führten zu weniger Herz-Kreislauf- und Diabetesrisiko bei den (Enkel-)Kindern. Das Risiko war hingegen bei denjenigen hoch, deren (Groß-)Väter überernährt waren. Insgesamt wird die Fallzahl der Diabeteserkrankten aber als zu klein bezeichnet, um sichere Aussagen treffen zu können (vgl. ebd.: 686). Eingeräumt werden weitere unbekannte Effekte auf die Todesursachen der Proband_innen: »Childhood experiences, social environment, circumstances of the adult life, and psychological circumstances might have had a long-term influence on the probands' management of risks for cardiovascular disease. None of these possible effects was taken into account.« (ebd.: 687)

Es bleibe ungeklärt, ob nahrungsbedingte Modifikationen der DNA oder der Histone eine Vererbungsfunktion einnehmen. Kaati et al. weisen darauf hin, dass epigenetische Veränderungen bei Mäusen gefunden wurden, es jedoch unklar sei, ob epigenetische Vererbung während der SGP stattfindet. Dass die Ernährung Eierstöcke und Hoden von Beginn ihrer Entwicklung an im Fötus beeinflussen, sei anerkannt, aber es sei zu wenig darüber bekannt, um zu spekulieren, wie der Zugang zu Nahrung während der SGP epigenetische Einflüsse väterlicherseits erkläre. »Too little is known to speculate on how food availability during the SGP might impact epigenetically on the maturing male germ line, but in mice new parental-specific genomic imprints are introduced when sperm and oocytes begin to mature.« (ebd.: 688) Ohne genaue Ursachen benennen zu können, beenden Kaati et al. die Studie mit der Schlussfolgerung, man könne von transgenerationellen Effekten in der väterlichen Linie durch nahrungsbedingte Umstände während der SGP auf das Risiko für Herz-Kreislauf-erkrankungen und Diabetes bei ihren Nachkommen schließen.

4.2.2 Die Ernährung von Großeltern beeinflusst Erkrankungen bei Enkeln

Nach der Darstellung zentraler Inhalte der Studie, diskutiere ich nun einige Aspekte, die in der Bearbeitung auffielen und mir Anknüpfungspunkte für weitere Auseinandersetzungen bieten. Kaati et al. weisen auf einen statistischen Zusammenhang von Nahrungsmittelverfügbarkeit und Krankheitsrisiko in den folgenden Generationen hin. Die Gründe hierfür bleiben jedoch ungeklärt, wie die Wissenschaftler_innen einräumen: »Therefore, this finding is not easy to interpret. Many other environmental influences might have been at work as nutrition is coherent with other determinants such as infections.« (ebd.) Angenommen wird, eine mögliche Ursache in epigenetischer Vererbung finden zu können. Betont werden transgenerationelle Effekte, die hier aber ausschließlich auf statistischen Korrelationsanalysen beruhen. Es werden statistische Daten wie Geburten- und Todesraten genutzt, um Aussagen über das Auftreten von Erkrankungen treffen zu können. Die Autor_innen begeben sich auf die Suche nach Erklärungen in umweltepigenetische Forschung hinein, ohne epigenetische Mechanismen selbst untersucht zu haben. Insgesamt zeichnet sich die Studie von Kaati et al. also durch Analysen statistischer Daten aus, die gemäß quantitativer Forschungspraxis versuchen, Phänomene in Verbindung zu bringen und Kausalitäten aufzuzeigen. Die statistischen Zusammenhänge reichen als Erklärung jedoch nur so weit, bis es darum geht, Ursachen und Gründe zu suchen, die im Bereich des Biologischen und von körperlichen Prozessen vermutet werden, über die eine Regressionsanalyse jedoch keine Auskunft geben kann.

Wie verstehen die Forscher_innen auf dieser Grundlage Epigenetik? Den Begriff an sich verwenden sie ausschließlich in Bezug auf Vererbung: »epigenetic in-

heritance« (ebd.: 683, 687). Im letzten Teil der Studie »Analogies as to mechanisms« sprechen die Autor_innen zwei bekannte Prozesse epigenetischer Veränderung an, die DNA-Methylierung und die Modifikation des Histoncodes. Beides haben sie jedoch nicht selbst untersucht. Stattdessen berufen sie sich auf Studien, die die Bedeutung von geprägten Genen für transgenerationale Effekte aufzeigen. Kaati et al. betonen in ihrer vorsichtigen Vermutung bezüglich epigenetischer Mechanismen immer wieder die Vererbbarkeit und fragen, ob in den Fällen von Überkalix epigenetische Vererbung vorliegt und ob durch die Ernährungsweisen der Großeltern die Krankheitsdisposition ihrer Enkel_innen mittels epigenetischer Prozesse wie Methylierung der DNA oder Histonmodifikation beeinflusst wird.

Die Autor_innen interessieren sich für transgenerationale Effekte, können aber nicht eindeutig die Einflussfaktoren benennen, die epigenetische Vererbungsmechanismen steuern. Fokussiert wird die Rolle vorhandener Nahrung und die Menge konsumierter Nahrungsmittel. Es werden weitere Umwelteinflüsse genannt (vgl. ebd.: 687), doch nicht explizit mit Epigenetik in Verbindung gebracht. Was zunächst ausführlich erklärt wird, ist die Operationalisierung des Faktors Nahrungsmittelzugang. Jedoch werden hier keine Mengenangaben über vorhandene Nahrungsmittel definiert oder Arten von Lebensmitteln benannt, sondern der Zugang zur Nahrung in gut, moderat und arm differenziert sowie zu allen untersuchten Jahren die jeweiligen vorhandenen Ressourcen beschrieben. Einmal wird dies auch zusammengefasst als »nutrition-related circumstances of the social environment« (ebd.). Ein Zusammenhang zwischen Nahrungsaufnahme, epigenetischen Mechanismen und Diabetesrisiko wird postuliert, seine genauen Wechselwirkungen und die beteiligten Prozesse sind jedoch nicht bekannt.

Auffällig sind der Einstieg in die Studie und die Erzählung, mit der das vorangestellte Abstract beginnt: »Overfeeding and overeating in families are traditions that are often transferred from generation to generation.« (ebd.: 682) In der Untersuchung von Kaati et al. geht es zwar um Effekte bestimmter Ernährungsweisen oder Nahrungsmengen auf nachfolgende Generationen. Jedoch ist nicht Gegenstand der Studie, inwiefern Verhaltensweisen wie »overfeeding and overeating« weitergeben werden, sondern wie aufgrund von Unterernährung oder ausreichender Nahrungseinnahme durch noch ungeklärte, eventuell epigenetische Mechanismen das Risiko für bestimmte Krankheiten in den nächsten Generationen begünstigt wird. In der Annahme, dass jene Verhaltensweisen »transferred« werden, wird nahegelegt, dass auch für soziale Phänomene wie Traditionen biologische Mechanismen der Vererbung gelten. Jene zunächst als Traditionen bezeichneten Verhaltensweisen werden schließlich als »adaptions to the social environment« (ebd.) bezeichnet. Neige ein Mensch also nicht aufgrund seiner familiären Tradition oder biologischen Veranlagung zu der Tendenz, sich zu überessen, so könne es sich hierbei auch um Anpassung an die soziale Umwelt handeln. Beide Argumentationsweisen sind Versuche der Autor_innen, das Überessen zu erklären. Und beides

passiert nicht ohne rhetorische Nähe zu biologischen Phänomenen und Ursachen. Werden Verhaltensweisen mit Vererbung oder Anpassung erklärt, entsteht meines Erachtens das Bild eines determinierten und durch seine Biologie bestimmten Menschen. Seine Handlungsmöglichkeiten erscheinen wenig selbstgesteuert und soziale Aspekte als in die Sphäre biologischer Phänomene und Erklärungen übersetzt.

An anderer Stelle werden weitere soziale Effekte erwähnt, wie zum Beispiel »probands' own nutrition, [...], [c]hildhood experiences, social environment, circumstances of the adult life, and psychological circumstances«, um darauf hinzuweisen, dass diese das »management of risks for cardiovascular disease« (ebd.: 687) der Proband_innen ebenfalls beeinflussen haben können. Während es zuvor zum Teil nach Prägung und Vererbung von Krankheitsdispositionen klang, wird hier vom Management des Risikos gesprochen. Unklar ist, ob damit weiterhin an der Vorstellung determinierten Verhaltens festgehalten wird oder Management im Sinne bewusster, aktiver Lenkungen und strategischer Eingriffsmöglichkeiten aufgefasst werden kann.

Diese biomedizinische Studie interessiert sich also stark für den Einfluss der äußeren Umwelt und das Zusammenspiel binär gedachter Pole wie Körperaußen und Körperinnen. Mit der Öffnung hin zur körperäußeren Umwelt schwinden ihre Möglichkeiten eindeutiger Aussagen über Zusammenhänge und Kausalitäten. So formulieren Kaati et al. selbst Unsicherheiten und Wissenslücken, betonen zugleich aber ihre Vermutung, dass epigenetische Mechanismen hier relevant sind und auch über mehrere Generationen hinweg weitergegeben werden.

4.3 McGowan et al.: rRNA hypermethylation in suicide brain

Die zehn Seiten umfassende Studie »Promoter-Wide Hypermethylation of the Ribosomal RNA Gene Promoter in the Suicide Brain« ist 2008 in der Online-Zeitschrift *PLoS ONE* erschienen. Sieben Forscher_innen der McGill Universität in Quebec (Kanada) untersuchten darin gemeinsam mit den bekannten Epigenetikern Moshe Szyf und Michael Meaney die Gehirne von Suizidopfern, die alle männlich waren.

4.3.1 Zusammenfassung der Studie

Die Autor_innen des Papers prüfen die Hypothese, dass die rRNA im menschlichen Hippocampus von Suizidopfern, die in ihrer Kindheit Missbrauch oder Vernachlässigung erlebt hatten, anders methyliert und expressiert sein könnte als bei Menschen, die plötzlich gestorben waren und keine Missbrauchserfahrungen erlitten hatten. Dafür untersuchten sie bestimmte Abschnitte der DNA, die CpG-

Dinucleotide⁴, bereichsspezifisch auf die Regulation der rRNA-Genexpression in den Gehirnen von 13 Suizidopfern und verglichen diese mit den Werten einer Kontrollgruppe (vgl. ebd.: 2). Ihre Ergebnisse weisen auf epigenetische Veränderungen der rRNA in der Pathophysiologie des Suizids hin, so die Autor_innen am Ende ihrer Einleitung.

Im Diskussionsteil präzisieren McGowan et al.: Die Studie weist auf die DNA-Hypermethylierung der rRNA Promotorregion im Hippocampus bei Suizidopfern mit Missbrauchserfahrungen hin. Diese zeige sich nicht in der Kontrollgruppe. Sie räumen ein, dass die Ergebnisse vor allem auf Korrelationsstudien beruhen, die Psychopathologie und Methylierung in Verbindung setzen, sie jedoch den bisherigen Erkenntnissen und Untersuchungen entsprächen (vgl. ebd.: 5). Die Unterschiede zwischen den Probandengruppen, so die Vermutung, würden nicht durch Bedingungen begünstigt, die direkt nach Eintreten des Todes oder post mortem auftreten. Neben den Unterschieden in der Methylierung fanden die Forschenden in den Gehirnen der Suizidopfer eine geschädigte rRNA-Expression im Hippocampus. Sie schließen nicht aus, dass es weitere epigenetische Mechanismen gibt, die die rRNA-Expression beeinflussen könnten.

Die Autor_innen sehen ihre Hypothese gestärkt, dass der Einfluss kindlicher Missbrauchserfahrung und epigenetische ›Abweichung‹ im späteren Leben epigenetische Markierungen im Gehirn verändern würden. Dies sei bereits für Nagetiere gezeigt worden. Nun sei es einfach anzunehmen, so die Forschenden, dass epigenetische Prozesse Effekte von Missbrauch oder Vernachlässigung in der Kindheit aus dem Gehirn vermitteln, die bis ins Erwachsenenalter bestehen und das Risiko, Suizid auszuüben, verstärken (vgl. ebd.: 6). McGowan et al. weisen darauf hin, dass epigenetische Unterschiede ebenfalls durch genetische Faktoren und Umweltfaktoren entstehen könnten, wie zum Beispiel durch Medikamente gegen psychische ›Störungen‹ (vgl. ebd.). Zusammenfassend halten McGowan et al. fest, dass ihre Daten die gesteigerte promotorweite Methylierung der rRNA-Promotors und verringerte rRNA-Expression bei Suizidopfern zeigten. Es stimme mit bisherigen Erkenntnissen überein, dass Ereignisse im frühen Alter den epigenetischen Status von Genen beeinflussen, die neurale Funktionen vermitteln (»mediate«) und so das individuelle Risiko, Suizid zu begehen, prägen können (vgl. ebd.: 7). Am Ende der Studie stehen weitere Erläuterungen zu den Methoden und dem Material sowie den durchgeführten Analysen.

4 CpG-Dinukleotide bezeichnen den chemischen Zusammenschluss der Nukleobasen Cytosin und Guanin und einen Abschnitt auf der DNA, der zentral für DNA-Methylierungen ist (vgl. Goldman 2001: 477).

4.3.2 Zur veränderten Genexpression im Gehirn durch Missbrauchserfahrungen

Was bereits in der Studie von Kaati et al. (2002) auffiel und auch von McGowan et al. selbst angesprochen wird, ist eine erneute Fokussierung auf Korrelationsanalysen. Anders als Kaati et al. (2002) führen McGowan et al. jedoch auch molekularbiologische Untersuchungen durch und nicht ausschließlich statistische Analysen. Während Kaati et al. (2002) den kausalen Zusammenhang zwischen Nahrung und Krankheitsentstehung in den nachfolgenden Generationen aufzeigen, ohne die (epigenetischen) Ursachen dafür zu kennen, zeichnen McGowan et al. epigenetische Mechanismen in Expressionsanalysen nach und betonen die Bedeutung der DNA-Methylierungen. Im Vergleich zur ersten Studie fallen die Schlussfolgerungen und Kausalitäten bei McGowan et al. komplexer aus. Es lohnt ein Blick darauf, welche Faktoren wie miteinander in Beziehung gesetzt werden: Ergebnis der Studie ist, dass die Gehirne von Suizidopfern, die Missbrauch in ihrer Kindheit erlitten hatten, aufgrund von DNA-Hypermethylierung im Hippocampus eine veränderte Expression aufzeigten.

Zu fragen ist nun, welche Rollen der Suizid und die Missbrauchserfahrung in der Argumentation der Forschenden einnehmen. In Bezug auf Studien bei Nagetieren geben McGowan et al. an, dass frühkindliche Erfahrungen, hier die Fürsorge der Mutter, epigenetische Markierungen im Gehirn verändern (vgl. McGowan et al. 2008: 1). Die Missbrauchserfahrung steht dabei am Anfang einer Kausalkette und wird als Auslöser epigenetischer Veränderungen diskutiert. Die Autor_innen schreiben dazu: »It is tempting to speculate that epigenetic processes mediate effects of social adversity during childhood on the brain that persist into adulthood and are known to enhance suicide risk.« (ebd.: 6) Es ist nicht eindeutig, welche Funktionen McGowan et al. dieser Erfahrung zuschreiben. Zu bemerken ist, dass Epigenetik hier eine Mittlerinnenrolle einnimmt, die zwischen der Missbrauchserfahrung und dem Suizid steht, da sie als Überträgerin spezifischer Erlebnisse auf das Gehirn diskutiert wird. Denn die Autor_innen argumentieren, dass Missbrauch zu veränderten Genexpressionen führt. Unklar ist, ob McGowan et al. darin auch den Grund für den Suizid sehen. Wenn sie schreiben, dass das Risiko zu suizidaler Handlung durch Missbrauchserfahrungen verstärkt würde, scheint diese Einschätzung naheliegend. Das passt auch zu dem, was die Autor_innen am Ende ihrer Diskussion schreiben: »To date, our data are merely consistent with the hypothesis that early life events can alter the epigenetic status of genes that mediate neural functions, and thus contribute to individual differences in the risk for suicide.« (ebd.: 7)

Die These, dass der Einflussfaktor Missbrauchserfahrung epigenetische Prozesse beeinflusst, scheint zunächst den bisherigen Annahmen im Feld Epigenetik zu entsprechen. Nun wird jedoch den epigenetischen Prozessen zugeschrieben,

das Risiko, Suizid zu begehen, zu beeinflussen. Vom *Risiko* des Suizids zu sprechen und dies kausal auf Missbrauchserfahrungen und veränderte Genexpression zurückzuführen, erweckt den Anschein, dass es sich um ein ähnlich quantifizierbares Risiko handelt, wie an einer Krankheit zu leiden. Wird hier also die Handlung zum Suizid als sozial und biologisch bedingte Verhaltensursache verstanden?⁵ Um dies zu beantworten, muss nachvollzogen werden, wie Suizid in der Studie begriffen wird. Selbsttötung scheint hier nicht als bewusste Verhaltensweise, sondern vielmehr als psychische Erkrankung aufgefasst zu werden, die durch physiologische Prozesse gesteuert wird. Aus nicht-naturwissenschaftlicher Perspektive läge es wohl eher fern, bei gleichzeitiger Missbrauchserfahrung auch biologische Ursachen für einen Suizid zu suchen. Stattdessen würden eher sozial bedingte, traumatische und psychologische Ursachen betrachtet. Doch scheint gerade der Bezug zur Psychologie in dieser Studie Dreh- und Angelpunkt für die Frage nach der Zuordnung des Verhaltens zu sozialer Umwelt oder Biologie. Jene Trennung ist nun nicht mehr aufrecht zu halten und die Beziehung von Sozialem, Psychologischem und Biologischem unklar. Dass der Suizid als psychologische ›Störung‹ und Krankheitsbild aufgrund physiologischer Disfunktionen gedeutet wird, legt auch der Bezug zur Pathophysiologie nahe, der von den Autor_innen mehrfach hergestellt wird. So sprechen sie im Abstract der Studie von der »pathophysiology of suicide« (ebd.: 1), einer Funktionsstörung des Organs bei Suizid. Erneut – wie bei Kaati et al. (2002) – wird ein Bild vom determinierten und durch eine ›Störung‹ bestimmten Menschen entworfen, der keine bewussten Verhaltensentscheidungen zum Suizid trifft. Der Suizid wird hier, mit Rückbezug auf Missbrauchserfahrungen, als durch biologische und physiologische Funktionsstörungen bedingt verstanden.

Insgesamt drücken die Autor_innen sich vorsichtig aus, wenn sie einen Zusammenhang von veränderten Genexpressionen im Gehirn und psychiatrischen ›Störungen‹ sowie Suizid vermuten, betonen die Verbindungen aber wiederholt. Dabei zeigen sie ausschließlich, dass die Suizidopfer, die sich durch frühkindliche Missbrauchserfahrungen von der Kontrollgruppe unterscheiden, andere Expressionsmuster im Hippocampus aufzeigen. Die Autor_innen bleiben vage in ihren Folgerungen und schreiben zaghaft, dass der unterschiedliche epigenetische Status das individuelle Risiko, Suizid zu begehen, beeinflussen könne. Sie ziehen dabei andere Studien heran, die ähnliche Ergebnisse vorlegen. Im wiederholten Wechsel von Maus- und Humanstudien beziehen sie sich dabei mal auf Tiere, dann wieder auf Menschen. Die Grenze zwischen Tier und Mensch verschwimmt dabei.

Abschließend werfe ich einen Blick auf die Frage, welche Aspekte als Umweltfaktoren gewertet werden. Frühkindliche Vernachlässigung und Missbrauchser-

5 Diese Frage habe ich im Artikel *Natur-Kultur-Verschänkungen und die Materie der Epigenetik* bejaht, dort jedoch nur eine knappe wissenschaftskritische Analyse der Studie von McGowan et al. (2008) durchgeführt (vgl. Krall 2018).

fahrung werden bezüglich ihres Einflusses auf epigenetische Prozesse untersucht. »Alterations in gene expression in response to environmental exposure, including social and physical adversity.« (ebd.) Die Autor_innen schließen jedoch auch den Einfluss anderer Faktoren nicht aus, wenn sie schreiben: »Epigenetic differences might be driven by genetic differences as well as by other environmental and dietary factors.« (ebd.: 6) Als einen exemplarischen Faktor nennen sie Medikamente. Ihre Untersuchungen fokussieren aber auf »early life events«. Durch die Formulierung, dass Umweltfaktoren und Ernährung ebenfalls Einfluss haben könnten, führen sie zudem eine weitere Vermutung an, die sie nicht explizieren können. Auch in dieser Studie werden durch die Nennung potentieller Einflussfaktoren und ungelöster Zusammenhänge Wissenslücken und Unklarheiten artikuliert.

Es lässt sich festhalten, dass sich McGowan et al. im Vergleich zur ersten Studie sehr ausführlich mit epigenetischen Mechanismen beschäftigen und unter anderem die DNA-Methylierung beschreiben. Die rRNA-Expression ist es, die sich zwischen Suizidopfern und Kontrollgruppe signifikant unterscheidet. Inwiefern der rRNA eine Mittlerinnenrolle zukommt, wird aber nicht explizit von McGowan et al. angesprochen. Die Forscher_innen setzten zudem den Einfluss äußerer, sozialer Faktoren voraus, untersuchen jedoch keine transgenerationellen Effekte. Auffällig war vor allem die deterministische Auffassung des Suizids sowie traumatischer Erfahrungen: Dabei wird eine klare Einteilung in soziale vs. biologische Aspekte brüchig. Die Grenzziehungen zwischen Natur und Kultur sowie zwischen Tier und Mensch scheinen somit auch in der zweiten Studie zu verschwimmen.

4.4 Weaver et al.: Epigenetic programming by maternal behavior

Die Studie »Epigenetic programming by maternal behavior« von Ian Weaver et al., ebenfalls wie die vorherige durch eine Gruppe von insgesamt neun Forscher_innen um Szyf und Meaney verfasst, ist 2004 in der *Nature Neuroscience* erschienen und umfasst acht Seiten. Die Forschenden entstammen ebenso der McGill University in Quebec (Kanada) sowie Forschungszentren in Quebec und Edinburgh (UK). In dieser Studie wurden jedoch keine Menschen untersucht, sondern Ratten.

4.4.1 Zusammenfassung der Studie

Weaver et al. nehmen an, dass mütterliche Pflege das Epigenom des Nachwuchses am Glucocorticoidrezeptor (GR)⁶ des Genpromotors im Hippocampus beein-

6 Der Glucocorticoidrezeptor ist ein Hormonrezeptor, dessen Funktion die Bindung von Glucocorticoiden ist. Glucocorticoide (oder auch Glukokortikoide) gehören zu den Corticosteroiden, einer Klasse der Stereoidhormone, die in der Nebenniere gebildet werden. Ein Anstieg

flusst, und untersuchen dies an Ratten. Beschrieben werden folgende mütterliche Verhaltensweisen, die es in geringerer und stärkerer Ausprägung gäbe: »pup licking and grooming (LG) and arched-back nursing (ABN)« (Weaver et al. 2004: 847). Beide Gruppen – viel oder weniger geleckter und gepflegter Nachwuchs – zeigen Unterschiede bezüglich der Histonacetylierung⁷, der DNA-Methylierung, der NGFI-A-Bindung,⁸ der GR-Expression sowie der Stressreaktion der Hypophysen-Hypothalamus-Nebennieren-Achse (HPA).⁹ Dies weist auf eine kausale Relation zwischen epigenetischem Status, GR-Expression und mütterlichen Effekten auf Stressbewältigung beim Nachwuchs hin und zeige, dass der epigenetische Status eines Gens durch Verhalten programmiert werden könne. Die epigenetischen Modifikationen seien auch reversibel (vgl. ebd.: 847).

Die Autor_innen führen einige Informationen zum Einfluss sogenannter mütterlicher Effekte aus anderen Studien an und formulieren Erkenntnisse und Wissenslücken: »Through undefined epigenetic processes, maternal effects influence the development of defensive responses to threat in organisms ranging from plants to mammals.« (ebd.) Ihre Untersuchungen zum Einfluss mütterlichen Verhaltens auf und Kontakt zum Nachwuchs würden unterschiedliche Stressbewältigung (»HPA responses to stress«) im Nachwuchs zeigen. Die Nachkomm_innen von viel pflegenden Müttern zeigen weniger Angstreaktion und mehr HPA-Stressbewältigung. Dass hierfür das Pflegeverhalten ursächlich ist, wollen Weaver et al. mit Fremdpflegestudien belegen. Dabei wird das Jungtier von einer wenig pflegenden Ratte getrennt und von einer viel pflegenden Ratte aufgezogen. Die Ergebnisse zeigten, dass der fremdgepflegte Nachwuchs dem biologischen Nachwuchs einer viel pflegenden Ratte ähnelte, wenn er ebenfalls bei viel pflegenden Muttertieren aufwächst.

Unklar sei jedoch, welche Mechanismen die Effekte mütterlichen Verhaltens lebenslang aufrechterhalten. »The critical question concerns the mechanisms whereby these maternal effects, or other forms of environmental ›programming‹,

von Glucocorticoiden wird mit Stress in Verbindung gebracht (vgl. Kleine, Rossmannith 2021: 564). Glucocorticoidrezeptoren können eine hemmende Wirkung haben, wenn sie Bindungen an die DNA blockieren (vgl. ebd.: 73).

- 7 Histonacetylierung ist eine Art der Histonmodifikation (s. 2.2): »Histone acetylation and methylation maintain chromatin in a transcriptionally active (acetylated) or silenced (deacetylated) state and are necessary for marking DNA sequences for methylation, although the details remain undetermined.« (Bernal et al. 2011: 246)
- 8 »NGFI-A binding« steht für »nerve growth factor-inducible protein A« (Weaver et al. 2007: 1756). Der Nervenwachstumsfaktor ist ein Protein und relevant für das Wachstum einiger Regionen im Nervensystem von Säugetieren.
- 9 Die »hypothalamic-pituitary-adrenal axis« (HPA) bezeichnet die komplexe Wechselwirkung verschiedener Hormondrüsen und somit die Hormonsteuerung (vgl. Kleine, Rossmannith 2021: 16). »Die adäquate Antwort auf Stress hängt bei Säugern von einer funktionsfähigen hypothalamisch-hypophysär-adrenalen Achse (HPAA) ab.« (ebd.: 34)

are sustained over the lifespan of the animal.« (ebd., H.i.O.) Mütterliches Verhalten bei Ratten würde zu permanenten Veränderungen der Entwicklung der Stressbewältigung führen, und zwar durch gewebespezifische Genexpression. Denn der erwachsene Nachwuchs viel pflegender Mütter zeige eine erhöhte GR-Expression im Hippocampus und geringere HPA-Stressbewältigung: »suggesting that the difference in hippocampal GR expression serves as a mechanism for the effect of early experience on the development of individual differences in HPA responses to stress.« (ebd.) Ähnlich wie andere Studien weist auch die von Weaver et al. (2004) auf die Relevanz der frühen Entwicklungsphase hin: Unterschiede in der Methylierung entstünden zu Beginn, wenn die Divergenzen im mütterlichen Pflegeverhalten offensichtlich seien. Die ersten Wochen nach der Geburt werden als bedeutend gesehen für epigenetische Veränderungen (vgl. Weaver et al. 2004: 850).

Zudem interessierte die Wissenschaftler_innen, ob die epigenetischen Markierungen reversibel sind. Dazu verabreichten sie ein Antibiotikum (»trichostatin A«, kurz TSA) und stellten fest, dass die TSA-Behandlung zu größeren Veränderungen in der DNA-Methylierung führt als mütterliche Pflege. Die DNA-Methylierungsmarkierungen durch mütterliches Verhalten sind durch pharmakologische Veränderungen der Chromatinstruktur im Hippocampus des erwachsenen Nachwuchses umkehrbar. (vgl. ebd.: 851). Durch Infusion von TSA werden somit die mütterlichen Effekte auf die HPA-Stressreaktion eliminiert.

Die Studie schließt mit einer kurzen Diskussion, bevor die Autor_innen zu einer ausführlichen Beschreibung ihrer Methoden kommen. Es werden erneut zentrale Ergebnisse zusammengefasst, aber eingeräumt, dass die genaue kausale Beziehung zwischen DNA-Methylierung, veränderter Histonacetylierung und NGFI-A-Bindung nach wie vor zu bestimmen sei und offen bleibe (vgl. ebd.: 852). Die Autor_innen nehmen an, dass Effekte auf die Chromatinstruktur wie hier beschrieben als Zwischenprozesse dienen, welche die dynamischen umweltabhängigen Erfahrungen auf das Genom einschreiben und somit »the nature of gene-environment interactions« (ebd.) klären würden.

Insgesamt beschreibt diese Studie sehr ausführlich und in vielen sich wiederholenden Aussagen etwas über minimale epigenetische Veränderungen und führt damit assoziierte biochemische Prozesse detailliert an. Am Ende wird die Bedeutung des umweltabhängigen Einflusses angesprochen.

»Epigenetic modifications of targeted regulatory sequences in response to even reasonably subtle variations in environmental conditions might then serve as a major source of epigenetic variation in gene expression and function, and ultimately as a process mediating such maternal effects.« (ebd.)

4.4.2 Der Einfluss mütterlichen Pflegeverhaltens auf die Stressbewältigung der Nachfahr_innen

Ähnlich wie die vorherigen Studien beruht auch diese vor allem auf statistischen Analysen, wenngleich hier die Beschreibungen molekularbiologischer Prozesse und Untersuchungen sehr viel Platz einnehmen. Die Autor_innen fokussieren epigenetische Mechanismen (DNA-Methylierung, Genexpression), stellen ihre Bedeutsamkeit aber besonders auf Basis statistischer Zusammenhänge heraus. Biochemische Untersuchungen und quantitative Verfahren werden kombiniert, um zu veranschaulichen, dass unterschiedliches mütterliches Pflegeverhalten epigenetische Markierungen beeinflusst, die verschiedene molekularbiologische Prozesse prägen und unter anderem zu unterschiedlicher Stressbewältigungsfähigkeit führen.

Zunächst arbeite ich heraus, was Weaver et al. unter Epigenetik verstehen. Die Autor_innen sprechen sowohl von Epigenom und epigenetischem Status als auch von epigenetischen Prozessen und Mechanismen (vgl. z.B. ebd.: 847; 848). Unklar ist mir, ob eine bewusste Trennung zwischen epigenetischem Zustand und epigenetischen Prozessen gemacht oder die Begriffe zufällig gewählt werden. Das Epigenom, der epigenetische Ist-Zustand, wird als die Genexpression steuernd beschrieben. Die Erklärung »methylation pattern is a stable signature of the epigenomic status« (ebd.: 848) deutet auf den aktiven Einfluss der Epigenetik als Status hin. Epigenetik erscheint hier also sowohl stabil als auch dynamisch.

Trotz unterschiedlicher Begrifflichkeiten wird deutlich: Es geht um Veränderungen des Epigenoms und um epigenetische Variationen unter den Jungtieren. Als epigenetischer Status oder epigenetische Markierung wird die Methylierung verstanden. Die epigenetische Markierung wird als die Genexpression regulierend aufgefasst, genau wie das Epigenom. Mütterliches Verhalten übt Einfluss, indem es den epigenetischen Status (das Epigenom, die Methylierung) verändert. Zudem wird davon gesprochen, dass auch epigenetische Prozesse und Veränderungen etwas regulieren. Beide – epigenetischer Status und epigenetische Prozesse – werden also unterschieden und Epigenetik somit verschiedene Funktionen und Zustände zugestanden.

Epigenetische Markierungen, das Epigenom beziehungsweise die Methylierung beeinflussen die Genexpression und auch der mütterlichen Pflege wird dies zugeschrieben. In dem Weaver et al. schreiben, dass die mütterliche Pflege die Genexpression *durch* epigenetische Veränderungen beeinflusst, wird der Expression eine Vermittlerrolle zu Teil: »the experience of the mother is translated through an epigenetic mechanism of inheritance into phenotypic variations in the offspring« (ebd.: 852). Die Autor_innen formulieren, dass mütterliches Verhalten auf die Genexpression einwirke, genau wie auf das Epigenom und den epigenetischen Status und die mütterliche Pflege auch die epigenetische

Markierung verändere. Zusätzlich heißt es, dass die mütterliche Fürsorge durch epigenetische Mechanismen in phänotypische Variationen übersetzt wird. Die Genexpression wird beeinflusst von epigenetischem Status und Methylierung und diese von mütterlichem Pflegeverhalten. Somit scheinen epigenetische Markierung sowie epigenetische Mechanismen oder Programmierungen als »Übersetzer« epigenetischer Variationen in der Genexpression zu fungieren.

Der Titel der Studie macht deutlich, dass mütterliches Verhalten als zentraler Umweltfaktor auf epigenetische Markierungen im Fokus steht. Die Autor_innen untersuchen die Intensität des Leckens und Pflegens und sprechen von »pup licking and grooming (LG)« sowie »arched-back nursing (ABN)« (ebd.: 847). Sie nutzen hierfür im weiteren Verlauf Abkürzungen (LG, ABN). Bei der Bezeichnung der Rattenmütter als entweder »low-LG-ABN mothers« oder »high-LG-ABN mothers« (ebd.: 848) entsteht der Eindruck, die unterschiedlichen Verhaltensweisen in formalisierbare Größen wandeln zu können. So auch, wenn Weaver et al. »maternal effects« (ebd.: 847) schreiben, welche jedoch von mütterlichem Verhalten unterschieden werden.

Die mütterlichen Verhaltensweisen (»maternal behavior« (ebd.: 847)) werden als die Schalthebel beschrieben, die epigenetische Prägungen verursachen, unterschieden werden hier die zwei Formen: wenig und viel pflegend. Obwohl es sich um Verhaltensweisen handelt, werden diese weniger individuell als eher mechanisch beschrieben und darüber auch formalisiert. Dabei werden die mütterlichen Verhaltensweisen in kausalen Zusammenhang mit epigenetischen Markierungen und Prozessen gebracht. Wann genau eine Rattenmutter als low- oder als high-LG-ABN gilt, wird nicht ausgeführt. Stattdessen werden nur der Kontakt zwischen Rattenmutter und Neugeborenem und das Pflegeverhalten beschrieben. Dabei scheinen die Autor_innen sich auf eine gängige Unterscheidung von Verhalten zu beziehen: »There are stable individual differences in two forms of maternal behavior – LG and ABN – over the first week of lactation.« (ebd.: 847) Während sie hier auf vier andere Studien verweisen, beziehen sie sich im darauffolgenden Satz auf »biologische Tatsachen«, wenn sie von »[s]uch naturally occurring variations« sprechen. Erneut erscheinen Verhaltensweisen nicht als individuell, sondern als determiniert und in nur zwei Varianten existierend.

Bemerkenswert ist, auf was sich die unterschiedlichen Pflegeverhalten und mütterlichen Effekte genau auswirken sollen und welche Rolle ihnen damit zugeschrieben wird: Mütterliches Verhalten sowie mütterliche Effekte beeinflussen, programmieren und markieren DNA-Sequenzen für die Übermittlung unterschiedlicher Stressresonanzen, so die Autor_innen. So wie die epigenetischen Mechanismen als Mittlerinnen der epigenetischen Variationen verhandelt werden, wird also einerseits die biologische Seite beschrieben, mit dem mütterlichen Einfluss auf Stressresonanz andererseits eine soziale. Während es nur um eine kurze Phase der Pflege geht, sind die Effekte langfristig und resultieren in langfristigen

Umweltprogrammierungen und Veränderungen von Genexpression und -funktion (vgl. ebd.: 852). Die mütterlichen Pflegeverhalten wirken sich als mütterliche Effekte in Form von »environmental programming« (ebd.) aus. Welche weiteren Effekte dazwischengeschaltet werden, bleibt ungeklärt.

Beschrieben werden komplexe epigenetische Prozesse, die durch viel und wenig Pflege jeweils auf andere Weise ablaufen. Zentral dabei ist die DNA-Methylierung. Dabei wird immer wieder die HPA-Reaktion auf Stress erwähnt und der Einfluss mütterlichen Pflegeverhaltens auf die Stressbewältigungsfähigkeit des Nachwuchses. Ohne Verweis auf epigenetische Vererbungsprozesse könnte man diese Übertragung auch als frühe Prägung verstehen. In der Studie von Weaver et al. wird jedoch sowohl der mütterlichen Pflege als auch der Stressbewältigung ein epigenetisches Fundament unterbreitet und mit molekularbiologischen Prozessen in kausale Relationen gesetzt. Hier wird die GR-Expression als Mechanismus für die Effekte frühkindlicher Erfahrungen auf individuelle Unterschiede in der HPA-Stressbewältigung beschrieben. Mütterliches Pflegeverhalten wirkt sich demnach über epigenetische Mechanismen auf Verhaltensweisen im Nachwuchs aus. So wird der Zusammenhang äußerer Verhaltensmerkmale und epigenetischer Prozesse aufgezeigt. Doch macht dies auch den Eindruck einer Determinierung der Verhaltensweisen, denn die epigenetischen Mechanismen erscheinen hier als unumgehbare Überträger des äußeren Einflusses mütterlicher Pflege auf die Stressresistenz der Jungtiere. Wie bei McGowan et al. (2008) sind auch in dieser Studie die Grenzen zwischen Natur/Kultur, Biologie/Sozialem und Körperinnen/Körperaußen und eine Gen/Umwelt-Interaktion nicht mehr erkennbar. Vielmehr geht es um dynamische Prozesse, in denen sich beide Pole jeweils verbinden und überschneiden.

Ohne, dass die unterschiedlichen Pflegeverhalten der Ratten explizit gewertet werden, ist die »low-LG-ABN«-Rattenmutter weniger positiv konnotiert als die viel Pflegenden. Schließlich treten beim Nachwuchs der viel pflegenden Mütter solche epigenetischen Markierungen und Mechanismen auf, die mit größerer Stressbewältigungsfähigkeit assoziiert sind. Mit der Frage nach der Reversibilität taucht nun ein weiterer Aspekt auf, nämlich die pharmakologische Veränderung, die als erfolgreich bei den weniger gepflegten Jungtieren beschrieben wird. Die Autor_innen halten fest, dass die DNA-Methylierungsmarkierung aufgrund mütterlichen Verhaltens durch pharmakologische Veränderungen der Chromatinstruktur wieder rückgängig gemacht werden kann. Mütterliches Pflegeverhalten wird nicht nur als Einflussfaktor, sondern auch als verantwortliche Ursache dafür gesehen, dass mittels epigenetischer Mechanismen die Stressresistenz des Nachwuchses besser oder schlechter ist. Die Rattenmutter wird für die Stressbewältigung des Nachwuchses verantwortlich gemacht, weil ihr Pflegeverhalten über epigenetische Prozesse die Stressbewältigung der Nachkomm_innen präge. Des Weiteren wird ein bestimmtes Pflegeverhalten als weniger pflegend beschrieben und überprüft, ob

seine Folgen mit Hilfe pharmakologischer Behandlungen reversibel sind, also mittels Substanzen, die im Zusammenhang mit Erkrankungen, ›Störungen‹ oder ›Abweichungen‹ eingesetzt werden. Aus der Studie von Weaver et al. ließe sich ableiten, dass Nachwuchs wenig pflegender Rattenmütter pharmakologisch behandelt werden muss, um eine vergleichbare Fähigkeit zur Stressbewältigung aufzuweisen wie der Nachwuchs viel pflegender Mütter. Das weniger pflegende Verhalten und die geringere Stressresonanz könnte man als abweichend und pathologisch auffassen und intensive mütterliche Pflege als gut und richtig. Das bedient ein heteronormatives, tradiertes Bild der Rolle von Müttern als sehr fürsorgend.¹⁰

Es lässt sich festhalten, dass mütterliches Verhalten als Umweltfaktor untersucht und durch die Bezeichnung als mütterlicher Effekt und in formalisierter Abkürzung determiniert und biologisiert wird: Verhaltensweisen werden in nur zwei unterschiedliche Formen geteilt und operationalisiert. Es macht nicht den Anschein, als hätten die Autor_innen Schwierigkeiten damit gehabt, den Einfluss eines Umweltfaktors – hier Verhaltensweisen – zu untersuchen. Im Gegenteil wird der Eindruck erweckt, dass komplexe Aspekte wie Erfahrungen und Pflegeverhalten einfach übertragbar und erforschbar sind. Verhaltensweisen werden in Programmierungen und Effekte übersetzt und so determiniert.

Zur Verwendung des Umweltbegriffs bei Weaver et al. ist besonders die kurze Diskussion der Studie relevant. Die Autor_innen formulieren hier den Anspruch, gemeinsam mit anderen Studien zur Aufklärung eines komplexen Zusammenhangs beizutragen: »the nature of gene-environment interactions« (Weaver et al. 2004: 852) In der Untersuchung des Einflusses von Umweltfaktoren wie mütterlichem Pflegeverhalten auf epigenetische Markierungen, die wiederum die Fähigkeit zur Stressbewältigung beeinflussen, wird die Möglichkeit gesehen, ein sehr komplexes Verhältnis und Wechselspiel präzise klären zu können. Damit messen die Autor_innen diesen Studien sehr viel Potenzial zu, schreiben aber gegen Ende ihrer Studie mehrfach, dass bestimmte Aspekte ihrer hochspezialisierten Forschungsfragen noch ungeklärt sind (vgl. ebd.) und formulieren weitere Unsicherheiten und Wissenslücken (vgl. ebd.: 847).

In Zusammenhang mit dem Umweltbegriff ist zudem von Bedeutung, welche Rolle den verschiedenen Funktionen zugeschrieben wird: Die Gen/Umwelt-Interaktion wird hier vom Phänotyp des Nachwuchses und der mütterlichen Pflege gebildet. Dazwischen stehen epigenetische Mechanismen, die ich weiter oben als Übersetzungsmechanismen gedeutet habe. Das artikuliert sich auch, wenn die Autor_innen schreiben, dass Effekte wie die mütterliche Pflege in ›environmental programming‹ resultieren und so die Genexpression und -funktion langfristig

10 Diese Studie habe ich an anderer Stelle in Ansätzen einer wissenschaftskritischen Analyse unterzogen und diese Kritik weiter ausgeführt (vgl. Krall 2018).

beeinflussen. Gleichzeitig werden die epigenetischen Modifikationen, die auf Umweltveränderungen reagieren, als »major source of epigenetic variations in gene expression and function« (ebd.: 852) beschrieben. Einfach ausgedrückt beeinflussen Umweltfaktoren die Genexpression, oder, genauer gesagt, wirken sich epigenetische Modifikationen aufgrund von Umwelteinflüssen auf epigenetische Variationen in der Genexpression aus. Das bezeichnen Weaver et al. als »an intermediate process that imprints dynamic environmental experiences on the fixed genome, resulting in stable alterations in phenotype.« (ebd.) Die Umwelteinflüsse wirken also über oder durch epigenetische Mechanismen auf das Gen. Somit ist Epigenetik hier zwischen Gen und Umwelt positioniert, wie sich ebenfalls in ihrer Rolle als Übersetzerin oder Vermittlerin ausdrückt. Epigenetik steht auch in der Studie von Weaver et al. zwischen Gen/Umwelt und Natur/Kultur und nimmt eine Vermittlerinnenrolle ein.

Neben der Übersetzer- und Vermittlerinnenrolle der Epigenetik lässt sich aus der Textanalyse von Weaver et al. (2004) resümieren, dass die Mütter nicht bloß zentraler Einflussfaktor sind, sondern für die Stressbewältigungsfähigkeit des Nachwuchses verantwortlich gemacht werden. Das mütterliche Pflegeverhalten spielt eine Rolle in biologistischen und deterministischen Argumentationen, ermöglicht aber auch, die binäre Grenzsetzung von Gen/Umwelt oder Natur/Sozialem aufzuweichen, und deutet damit auf ambivalente Wechselverhältnisse hin.

4.5 Gapp et al.: Implications of sperm RNAs of the effects of early trauma

Die Studie »Implications of sperm RNAs in transgenerational inheritance of the effects of early trauma in mice« wurde 2014 von Katharina Gapp und acht Kolleg_innen aus Forschungseinrichtungen in Cambridge (UK), Genf und Zürich (Schweiz) in der *Nature Neuroscience* veröffentlicht und untersucht ebenfalls Nagetiere. Sie umfasst fünf Seiten. Über die Homepage der Zeitschrift ist eine zusätzliche Datei mit Abbildungen abrufbar, die hier jedoch keine Beachtung finden.

4.5.1 Zusammenfassung der Studie

Gapp et al. gehen der Frage nach, welche Bedeutung sncRNA¹¹ im Sperma von Mäusen bei der Übertragung von Effekten hat, die durch traumatischen Stress be-

11 Hinter der Abkürzung steht die Bezeichnung »short non-coding RNA«, also kurze nicht-codierende RNA. Dies bezeichnet verschiedene RNAs, unter anderem die hier untersuchten miRNA und piRNA, die nicht – anders als etwa mRNA – in Proteine übersetzt werden.

dingt sind. Gapp et al. nehmen an, dass die sncRNA im Sperma als Übermittlerin fungiert: Durch die sncRNA würden Umwelteinflüsse auf das Genom einwirken und so Verhaltensänderungen und Modifikationen im Stoffwechsel der nachfolgenden Generationen ausgelöst. Dies prüften Gapp et al. am Mausmodell mit Hilfe verschiedener (Verhaltens-)Tests. Zunächst wurde die sncRNA im Spermium von Mäusen in einer Sequenzierung untersucht, in denen zahlreiche Populationen kurzer RNAs gefunden wurden, wie zum Beispiel miRNA und piRNA (vgl. Gapp et al. 2014: 667).¹² Danach beschäftigten sich die Forscher_innen mit dem Effekt der Auswirkungen von frühem traumatischem Stress auf die sncRNA im Sperma, in dem die Tiere unvorhergesehener mütterlicher Separation sowie unvorhergesehenem mütterlichem Stress ausgesetzt wurden. Dies wird in der Studie als »unpredictable maternal separation combined with unpredictable maternal stress« (ebd.) und mit MSUS abgekürzt. Es wird untersucht, welche Verhaltensänderungen jene Mäuse aufzeigten, was durch weitere Tests veranschaulicht werden konnte.

Im »elevated plus maze«-Test (ebd.), der auf der Abneigung von Mäusen, offene und unbekannte Plätze zu begehen, aufbaut, zeigten die MSUS-Mäuse kürzere Wartezeiten, auf die offenen Plätze zu gehen. Die Forscher_innen sehen hierin Hinweise für eine geringere Angstreaktion im Verhalten der Mäuse. Ähnliches zeigt sich in zwei weiteren Tests: In der Licht-Dunkelheit-Box verbringen die MSUS-Mäuse mehr Zeit im hellen Teil der Box als die Kontrollgruppe. Im »Porsolt force swim test« (ebd.: 668) schwammen die MSUS-Mäuse Männchen zudem länger als die Kontrollgruppe. Als auffällig wird beschrieben, dass diese Verhaltensmerkmale in der nächsten Generation (F₂) wieder auftreten. Da man davon ausgeht, dass früher Stress den Stoffwechsel reguliere, so Gapp et al., untersuchten sie zudem den Glucosestoffwechsel der Mäuse. Veränderungen waren dabei in den Nachfahr_innen der Stress ausgesetzten Mäuse stärker erkennbar als in den MSUS-Mäusen selbst (ebd.).

Weil die Veränderungen der MSUS-Mäuse an die Nachkomm_innen vererbt wurden, erforschten Gapp et al. die Beteiligung der sncRNAs der Spermien. Es wurde deutlich, dass viele miRNA hochreguliert waren, das heißt die Anzahl der Rezeptoren war im F₁ MSUS Spermium erhöht. Gapp et al. schließen daraus, dass die Trennung von der Mutter oder mütterlicher Stress (MSUS) mehrere sncRNA-Populationen beeinflussen. Zudem war die miRNA der MSUS-Mäuse im Blutserum verändert sowie in Gehirnregionen, die als in Stressverarbeitung involviert gelten. Veränderungen zeigten sich auch im miRNA des Bluts und des Hippocampus der F₂-MSUS-Mäuse, nicht aber in deren Sperma. Die miRNA der Enkelgeneration (F₃) wies keine Modifikationen auf. Die Forscher_innen schlussfolgern, dass Veränderungen der miRNAs in den Folgegenerationen mittels anderer nicht-genomischer oder epigenetischer Markierungen vererbt werden, zum Beispiel durch

12 Diese beiden RNA-Formen stehen für »microRNA« und »piwi-interactingRNA«.

DNA-Methylierung oder posttranslationale Histonmodifikationen, und nicht mehr durch modifizierte sncRNA in Spermazellen.

Schließlich untersuchten Gapp et al. den kausalen Zusammenhang von Sperma-RNA und dem Effekt von MSUS über mehrere Generationen hinweg, indem sie Wildtypen von Mäuseweibchen mit RNA-Spermien der MSUS-Männchen befruchteten. Ihre Nachkomm_innen, die »MSUS RNAinj mice« (ebd.: 669), wiesen die gleichen Verhaltensänderungen auf wie die ursprüngliche FS-Generation und ebenfalls niedrigere Insulin- und Glucoselevel. Der Nachwuchs der MSUS RNAinj Mäuse zeigte außerdem depressives Verhalten, was auf die Übertragung der Effekte durch injizierte Sperma-RNA hinweise, so die Autor_innen.

Gapp et al. schließen aus ihren Untersuchungen, dass RNA-abhängige Prozesse zur Übertragung von erworbenen Merkmalen und Umwelteinflüssen bei Säugetieren beitragen. Sie betonen die Relevanz von sncRNA und ihre Sensibilität gegenüber frühem Stress. Die Identifizierung von miRNA als Vermittlerin dieser Effekte ermögliche zudem, molekulare Marker für traumatischen Stress zu bestimmen und für die Diagnose von Stressdispositionen und stressbedingten ›Störungen‹ bei Menschen zu nutzen.

4.5.2 Über die Zusammenhänge von sncRNA, Sperma und traumatischen Stresserfahrungen

In die Analyse steige ich mit der Frage ein, welches Verständnis die Autor_innen von Epigenetik haben. Dabei ist zunächst auffällig, dass der Begriff nur zweimal benutzt wird. Einmal werden »epigenetic regulation«, ein anderes Mal »epigenetic marks« (ebd.) vermutet. Ziel der Studie war es, die Beteiligung von sncRNA im Sperma der MSUS-Mäuse an der Weitergabe von veränderten Merkmalen zu klären. Die Autor_innen zeigen, dass miRNAs hochreguliert und somit verändert sind. Die genaue Ursache kennen sie nicht (vgl. ebd.). Epigenetik wird als potentieller Faktor betrachtet, der miRNAs verändert. Möglicherweise kommt es also durch epigenetische Regulation zur Hochregulierung von miRNAs. Die Ergebnisse der Studie sind aber auch so zu interpretieren, dass die Veränderungen der miRNAs im sncRNA der Spermien selbst eine epigenetische Regulation sind.

Die Veränderungen treten auch in der F2-Generation auf, jedoch nur in der miRNA des Blutserums und des Hippocampus, nicht mehr im Spermium. Veränderte Merkmale in Verhalten und Stoffwechsel treten aber immer noch in der F3-Generation auf. Daher nehmen die Autor_innen an, dass die Veränderungen im miRNA Level in der F2-Generation möglicherweise »transferred to other non-genomic or epigenetic marks« (Gapp et al. 2014: 669) werden. Während zuvor die Epigenetik als mögliche Ursache für Veränderungen und als Regulatorin bezeichnet wurde, wird sie an dieser Stelle als Veränderungen übertragende und beibehaltene Markierung beschrieben. Die Verhaltensänderungen und Veränderungen im

Stoffwechsel würden demnach in der F1 und F2 Generation durch hochregulierte miRNAs bedingt. In der F3-Generation müssten sich diese Modifikationen hingegen auf epigenetische Markierungen übertragen haben. Wie genau dies passiert, ist nicht geklärt. Gapp et al. vermuten, dass »epigenetic marks, such as DNA methylation or histone post-translational modifications« (ebd.) eine Rolle spielen. In der Enkelgeneration ist die miRNA nicht mehr hochreguliert. Die Merkmalsänderungen zeigen sich jedoch nach wie vor, möglicherweise aufgrund modifizierter Methylierung oder posttranslationaler Histonmodifikation. Die miRNAs spielen dann keine Rolle mehr und haben ihren Status an DNA-Methylierung und Histone abgegeben, die als potentielle Ursache »for maintenance and further transmission« (ebd.) beschrieben werden. Während die Epigenetik als Regulation bereits in der F1-MSUS-Maus als ein möglicher Grund für Veränderungen der miRNA Erwähnung findet, kommen DNA-Methylierung und Histonmodifikation, beschrieben als epigenetische Markierungen, erst in der F3-Generation als potentielle Träger der Verhaltens- und Stoffwechseländerungen zum Tragen. Abgesehen davon, dass die tatsächliche Bedeutung und Beteiligung der Epigenetik nicht geklärt ist, wird sie in den nur zwei Nennungen auf unterschiedlichen Ebenen wirkend und mit verschiedenen Funktionen in der Studie beschrieben.

Gapp et al. sehen einen Zusammenhang zwischen frühem Stress und Verhaltens- sowie Stoffwechseländerungen mit veränderten miRNAs in den sncRNAs im Spermium. Sie können zeigen, dass die miRNAs verändert sind, wodurch ist jedoch unklar, möglicherweise durch epigenetische Regulation. Dann stünde die Epigenetik auch in dieser Studie zwischen dem Umwelteinfluss, den molekularbiologischen sowie den phänotypischen Veränderungen. Abgesehen davon, dass auch andere Regulationen als Ursache vorstellbar sind, ist nicht eindeutig, wo und wann diese einsetzen oder wirken. Vermutlich stehen sie zwischen dem Umwelteinfluss Stress und der veränderten miRNA. Wie es dann von dieser zu phänotypischen Veränderungen kommt, bleibt ebenfalls unbeantwortet. Auch in dieser Studie sind Korrelationsanalysen die zentrale Methode. Zudem bleibt unbeschrieben, wie es zu möglichen epigenetischen Markierungen kommt, die als »Platzhalterinnen« für die Ursachen oder phänotypischen Veränderungen in der F3-Generation dienen. Im Vergleich zu den F1- und F2-Generationen scheint die epigenetische Markierung in F3 sowohl den Stress zu ersetzen, den F1 erlebt hat, als auch die modifizierte miRNA, auf den sich Stress auswirkte und über die er auch in der F2-Generation zu Merkmalsänderungen führte. In der epigenetischen Markierung der Enkelgeneration verschmelzen Umwelteinfluss und biologische Veränderungen. Epigenetik als Mittlerin zwischen Natur und Kultur verbindet beide Sphären miteinander.

Bereits in der Überschrift der Studie wird von »transgenerational inheritance« gesprochen und wie beschrieben werden Merkmalsänderungen in drei Generationen aufgezeigt. Die Überschrift deutet an, dass die transgenerationale Vererbung

der Effekte von frühen traumatischen Erfahrungen im Fokus des Interesses steht. Gapp et al. schreiben: »sncRNAs are abundant in the mature sperm in mammals and may therefore convey transgenerational inheritance.« (ebd.: 667) Diese Wortwahl ist interessant, denn demnach ist die sncRNA im Spermium Überträgerin (»convey«) der Vererbung, eine Dopplung, kann man Übertragung und Vererbung doch auch synonym verstehen. Hier wird jedoch scheinbar das veränderte Merkmal mit der transgenerationellen Vererbung gleichgesetzt, denn im weiteren Verlauf wird der sncRNA die Rolle der Mittlerin zwischen Gen und Umwelt zugeschrieben. Etwas später schreiben die Autor_innen, »traits induced by MSUS are transmitted to the progeny« (ebd.: 669) und im gleichen Abschnitt ist die Rede von »transmission«. Das heißt, es werden sowohl Vererbung als auch äußere Einflussfaktoren als übertragend beschrieben.

Abschließend betrachte ich die Verwendung des Umweltbegriffs in der Studie. Früher traumatischer Stress wird als Umweltfaktor untersucht und dieser im Mausmodell simuliert, indem Mäuse unvorhergesehener Segregation von der Mutter ausgesetzt wurden sowie unvorhergesehenem mütterlichem Stress. Im Methodenteil der Studie wird die Behandlung der Mäuse beschrieben: Die Muttertiere wurden in den ersten 14 Tagen nach der Geburt täglich drei Stunden von ihrem Nachwuchs getrennt. Die temporäre Trennung der Jungen von der Mutter, bei der vermutlich daraufhin ebenfalls Stress ausgelöst wurde, wird als frühe traumatische Erfahrung bezeichnet und in der Abkürzung »MSUS« formalisiert. Inwiefern eine solche Gleichsetzung mit dem Begriff des Traumas üblich ist, wird nicht erläutert. Zudem sehen sich die Forscher_innen in der Lage, den Umweltfaktor Stress experimentell zu ersetzen: Durch die Injektion von Corticosteron, ein für den Glucosestoffwechsel relevantes Stereoidhormon, ahmen sie den Einfluss von traumatischem Stress nach (vgl. ebd.).

Die Rolle von Umwelteinflüssen wie traumatischem Stress im frühen Leben wird allgemein als kritisch in Bezug auf Krankheitsrisiken und -vererbung beschrieben und nicht nur die genetische Ausstattung als ausschlaggebend. Die Autor_innen räumen dazu ein: »How [environmental factors, L.K.] mediate their influence is poorly understood, but likely involves non-genetic mechanism.« (ebd.: 667) Dabei fallen zwei Dinge auf: Erstens ist eine Formulierung gewählt, die jene Umwelteinflüsse als aktiv handelnde beschreibt (»they mediate«). Das erweckt den Anschein, dass die Einflussfaktoren eigenständige Akteure sind. Den Eindruck macht es auch bei der sncRNA, wenn Gapp et al. »their sensitivity to early traumatic stress« (ebd.: 669) schreiben. Zweitens ist bemerkenswert, dass Studien wie die von Gapp et al. einen großen Wissensfortschritt und Erkenntnisgewinn postulieren, wenn sie schreiben, dass Effekte äußerer Einflüsse wie Stress vererbt werden. Zugleich wissen sie nicht genau, wie dies abläuft. Die Forschenden untersuchen den Einfluss eines Faktors im Mausmodell und die Rolle der sncRNAs im Sperma dabei, stellen mittels Korrelationsanalysen durch Verhaltenstests und Glucoseun-

tersuchungen Zusammenhänge her, können aber keine Aussage über den Einfluss der Umwelt auf Merkmalsänderungen liefern. Vielmehr betonen sie »sncRNA are potential mediators of gene-environment interactions that can relay signals from the environment to the genome and exert regulatory functions on gene activity.« (ebd.: 667) Die sncRNAs werden demnach als Mittlerinnen und Überträgerinnen zwischen Umwelt und Gen(-aktivität) charakterisiert und als Schlüssel zur Vermittlung beider Sphären beschrieben, ohne dass ihre Funktion final geklärt wird (vgl. Krall 2018: 16).

In dieser Studie wird der untersuchte Umweltfaktor klar benannt und die Wirkung frühen Stresses auch erforscht. Sein Einfluss zeigt sich scheinbar auf biologischer (Stoffwechsel und Insulinlevel) und auf sozialer Ebene (Verhalten). Die MSUS-Mäuse der F2-Generation weisen niedrigere Glucose- und Insulinlevel auf. Die Verhaltensänderungen in den drei Tests und das dort gezeigte weniger ängstliche Verhalten manifestierten sich hingegen in F1 und F2. Somit wirkt sich der Umweltfaktor Stress phänotypisch in den Stress ausgesetzten Mäusen ausschließlich im Verhalten aus, beziehungsweise in der F2-Generation in Verhaltens- und Stoffwechseleränderungen. Interessant ist dabei die Bedeutung des Umweltfaktors ab der F2-Generation, die dem Stress nicht mehr selbst ausgesetzt sind, jedoch ähnliche Merkmalsänderungen aufzeigen. Der Umweltfaktor hat sich demnach in der F1-Generation materialisiert, so dass seine Effekte noch in den nächsten beiden Generationen wirken, ohne dass der Umwelteinfluss bei ihnen vorhanden ist. Die Autor_innen können den genauen Einfluss nicht klären, gehen aber davon aus, dass Gene und Umwelt zusammenhängen und sich beeinflussen: »(sncRNA) are potential vectors at the interface between genes and environment« (Gapp et al. 2014: 667).

Ein wesentlicher Befund dieser Textanalyse ist, dass Epigenetik hier als Überträgerin und Vermittlerin mehrfach die Position zwischen Körperaußen/Körperinnen, Natur/Kultur und mehreren Generationen einnimmt. Besonders die RNA nimmt eine zentrale Rolle ein, da sie die Mittlerin zwischen Genen und Umwelt ist. Außerdem wurde eine Formulierung gewählt, durch die sncRNAs als Akteure aufgefasst werden können (vgl. ebd.: 669). Auch Gapp et al. weisen auf viele offen gebliebene Fragen und Wissenslücken hin. Zu bemerken ist, dass sie die Bedeutung von Mäusesperma und somit der väterlichen Linie ins Zentrum rücken. Dies scheint jedoch nur für die Übertragung epigenetischer Markierungen zu gelten, nicht etwa für die Auslöser, denn wie auch bei Weaver et al. (2004) wird der Kontakt zur und die Pflege durch die Mutter zentral gesetzt. Hier stehen zudem transgenerationelle Effekte und Veränderungen über drei Generationen im Zentrum der Forschung, was weitere Auseinandersetzungen mit zeitlichen Dimensionen und der Vorstellung davon, was und wie weitergegeben wird, ermöglicht.

5. Forschungsfokus: Ambivalente Gleichzeitigkeiten in der Umweltepigenetik

Schon die Beschäftigung mit Fachliteratur aus Epigenetik (2. Kapitel) sowie mit feministischen und wissenschaftstheoretischen Analysen des Feldes (3. Kapitel) hat verdeutlicht, dass es sich um ein heterogenes Forschungsgebiet handelt und Wissenschaftler_innen zu ganz unterschiedlichen Einschätzungen gelangen. Die sechs wesentlichen Anhaltspunkte, die ich auf Basis jener Kapitel formulieren konnte, fanden alle Widerhall in den vier analysierten Forschungsarbeiten (4.2 – 4.5). Jene relevanten Merkmale des Feldes, die Auskunft geben über Differenzsetzungen und damit verbundene potenzielle Verschiebungen, seien hier erneut gelistet:

- das Zusammenspiel von Genen und verschiedenen Umwelteinflüssen
- Anpassungs- und Antwortfähigkeiten (»response«) sowie Plastizität
- Changieren zwischen Offenheit gegenüber Umwelteinflüssen und (Gen-)Determinismus
- Prozesse zwischen Geno- und Phänotyp sowie Epigenetik als Mittlerin oder Überträgerin
- die besondere Rolle von Müttern
- Fachkontroversen und Wissenslücken

Die Textanalysen von vier Studien bestätigen, dass es sich hierbei um charakteristische Merkmale und Spezifika handelt. Das folgende Resümee der Pilotphase konkretisiert die einzelnen Punkte und ermöglicht eine Beurteilung umweltepigenetischer Forschungen. Diese ist dann Basis für eine weitere empirische Phase und die Erprobung der diffraktiven Methodologie (8. Kapitel), mit deren Hilfe nach Verschiebungen und nach neuartigen Anordnungen im Feld gesucht wird. Zunächst bietet die untenstehende Tabelle¹ eine Übersicht über die Befunde der Pilotphase,

1 Die sechs Anhaltspunkte finden sich in der linken Spalte wieder und waren in den Analysen nicht immer ganz trennscharf auseinanderzuhalten. So sind der erste und dritte Anhaltspunkt in der linken Spalte verbunden. Die Tabelle ist außerdem um »weitere Befunde« ergänzt.

die ich anschließend erörtere, um meine Hypothese zu formulieren: Umweltepigenetik zeichnet sich durch ambivalente Gleichzeitigkeiten aus.² In diesem Kapitel wird somit deutlich, welche Anknüpfungspunkte sich aus dem Feld generieren, die im Anschluss mit Hilfe des Durch-einander-hindurch-Lesens mit Barads agentiellem Realismus weiter verfolgt werden sollen.

2 Die ambivalente Gleichzeitigkeit der Epigenetik habe ich in Krall (2017) und Krall (2018) mit unterschiedlicher Schwerpunktsetzung andiskutiert und mich dabei auszugsweise auf einige der Studien aus der Pilotphase (4. Kapitel) bezogen. Detaillierte Analysen finden jedoch ausschließlich in der vorliegenden Arbeit statt.

Tabelle 1: Befunde der Pilotphase

Anhaltspunkte	Kaati et al. (2002)	McGowan et al. (2008)	Weaver et al. (2004)	Gapp et al. (2014)
Zusammenspiel Gene/ Umwelt	Soziale Verhaltensweisen und Faktoren zum Teil wie biologische Faktoren behandelt	Differenzen verschwimmen in der Untersuchung des Zusammenhangs von Missbrauchserfahrungen und Suizid	Umwelteinfluss ›mütterliches Pflegeverhalten‹ formalisiert, biologisiert und determiniert; Gen/Umwelt Interaktionen drücken sich darüber aber in dynamischen Wechselverhältnissen aus und Differenzsetzungen zwischen Natur/Kultur verschwimmen	Soziale Einflussfaktoren vermitteln und sind als ›Akteure‹ konzipiert
Changieren zwischen Offenheit und Determinismus				
›response‹ und Plastizität	›response‹ und Anpassung	-	-	-
Mittlerin und andere Zwischenpositionen	-	Epigenetische Prozesse vermitteln	Genexpression bzw. epigenetische Mechanismen als Übersetzer; Epigenetik als Vermittlerin	sncRNA als Übermittlerin; Epigenetik nimmt verschiedene Zwischenpositionen ein
Fokus auf Mütter	-	-	›Mütterliches Pflegeverhalten‹ als zentraler Umwelteinfluss	Für Weitergabe ist Sperma relevant, aber in Zusammenhang mit Umwelteinfluss und traumatischem Stress stehen Muttertiere im Fokus
Fachkontroverse und/oder Wissenslücken	Unklarheiten und Wissenslücken formuliert	-	Unklarheiten und Wissenslücken formuliert	Unklarheiten und Wissenslücken formuliert
Weitere Befunde		RNA spielt eine zentrale Rolle für Weitergabe		RNA spielt eine zentrale Rolle für Weitergabe
	Vergleich von Ergebnissen aus Tier- und Humanstudien	Vergleich von Ergebnissen aus Tier- und Humanstudien		
	Epigenetik vor allem als epigenetische Vererbung von Interesse		Epigenetik als Zustand und als Prozess	

Die in der Pilotphase diskutierten Studien untersuchen verschiedene körper-äußere Umwelteinflüsse wie traumatische Erfahrungen oder Nahrung auf epigenetische Mechanismen und ihre Folgen. Drei Studien stellen molekularbiologische Untersuchungen an (Weaver et al. 2004; McGowan et al. 2008; Gapp et al. 2014). Alle vier Studien bauen ihre Erkenntnisse vor allem auf Korrelationsanalysen und stellen statistische Zusammenhänge her. Die Ursachen der Unterschiede zwischen Versuchs- und Kontrollgruppe bleiben meist Vermutungen, ebenso wie die epigenetischen Grundlagen. Es ließen sich in allen vier Studien Aussagen finden, in denen Unsicherheiten und Wissenslücken angesprochen wurden. Umbeachtet dessen vermitteln alle einen Erkenntnisgewinn und scheinen auch mit ihren ungeklärten Annahmen und lückenhaften Resultaten fachlich anerkannt, denn immerhin wurden die Studien in renommierten Fachzeitschriften veröffentlicht. Daraus ergibt sich ein erster ambivalenter Eindruck, den ich weiterverfolgen werde.

Der Blick in die vier Studien machte deutlich, dass Epigenetik unterschiedlich verstanden wird und so verschiedene Facetten, zum Beispiel Epigenetik als Mechanismus, Prozess oder Überträgerin, zu Tage treten. Darin drückt sich nicht nur die Heterogenität des Feldes aus, sondern auch bereits die Ambivalenzen, die ebenfalls charakteristisch sind. DNA-Methylierung oder Histonmodifikationen als zentrale epigenetische Mechanismen finden in jeder Studie Erwähnung. In den Studien von McGowan et al. (2008) und Gapp et al. (2014) spielt die RNA in Bezug auf die Frage der Vermittlung äußerer Umweltfaktoren auf den Phänotyp eine zentrale Rolle, auch bei der Übertragung auf weitere Generationen. Bei Gapp et al. (2014) macht es zudem den Eindruck, dass der sncRNA ein aktiver Status beigemessen wird und diese als Akteurin in der Studie verstanden werden kann, zum Beispiel wenn die Forschenden über die RNA schreiben: »they mediate« (Gapp et al. 2014: 667).

In den letzten drei Analysen fiel auf, dass Epigenetik eine Mittlerinnenrolle zugeschrieben und sie somit als Botin oder Vermittlerin zwischen Natur/Kultur oder Gen/Umwelt gekennzeichnet wird. Bei McGowan et al. (2008) nimmt die Epigenetik eine Mittlerinnenrolle zwischen der traumatischen Gewalterfahrung und dem Suizid ein. In der Studie verändern die frühen Lebenserfahrungen den epigenetischen Status der Gene, die neuronale Funktionen vermitteln und das individuelle Suizidverhalten beeinflussen. »To date, our data are merely consistent with the hypothesis that early life events can alter the epigenetic status of genes that mediate neural functions, and thus contribute to individual differences in the risk for suicide.« (McGowan et al. 2008: 7) In dieser Reihung von Faktoren wird dem modifizierten epigenetischen Status die vermittelnde Rolle zwischen Erfahrung, neuronaler Funktion und Verhaltensweisen zugeschrieben und die Epigenetik somit zwischen den einzelnen Faktoren positioniert. Auch bei Weaver et al. (2004) ist Epigenetik die Überträgerin: »We propose that effects on chromatin structure such as those described here serve as an intermediate process that imprints dynamic environmental experiences on the fixed genome, resulting in stable alterations in

phenotype.« (Weaver et al. 2004: 852) Die Veränderungen auf der Chromatinstruktur werden als vermittelnder Prozess verstanden, der die Umwelterfahrungen auf dem Genom einschreibt und darüber zu phänotypischen Veränderungen führt. So wird die epigenetische Veränderung zwischen Ursache und Wirkung verortet.

Ähnliche Formulierungen finden sich in der Studie von Gapp et al. (2014), wo es heißt: »sncRNA are potential mediators of gene-environment interactions that can relay signals from the environment to the genome and exert regulatory functions on gene activity.« (Gapp et al. 2014: 667) Die sncRNAs sind diejenigen Bereiche, die epigenetische Veränderungen tragen. Sie werden als Mittlerinnen und Überträgerinnen zwischen Umwelt und Genen betrachtet und als Schlüssel zu deren Vermittlung. Die Annahme, dass die Differenzsetzung Natur/Kultur in der Epigenetik brüchig wird, bekommt somit eine besondere Perspektive, wenn es die Epigenetik selbst ist, in der die Grenzen verschwimmen.

Der Gefahr entgegentretend, dass Bezeichnungen wie Mittlerin oder Zwischenposition die Vorstellung inhärenter Binaritäten stärken können, werde ich mich im weiteren Verlauf der Arbeit mit diesen beschäftigen und diskutieren, inwiefern sie auf Unabgeschlossenheiten, Verbindungen und Verschränkungen hinweisen können. Eine Position dazwischen, wie sie Epigenetik, Genexpression oder RNA in den Studien zugeschrieben wird, kann die Vorstellung festigen, dass ein Phänomen weder zur einen (z.B. Körperaußen, Umwelt) noch zur anderen Sphäre (z.B. Körperinnen, Gene) gehört. Ich argumentiere dafür, dass eine Zwischen- oder Mittlerinnenposition aber auch illustrieren kann, dass Epigenetik beides ist, dass sowohl die eine als auch die andere Sphäre sich hier materialisieren. Aus dieser Perspektive überlappen die Bereiche. Was getrennt gedacht wird, verbindet sich und löst Differenzen auf. Weitere Textanalysen sind notwendig, um dem Potenzial nachzuspüren, das für die Auseinandersetzung mit Differenzen in all den Bezeichnungen – Mittlerin, vermitteln, Zwischenposition, Überträger – liegt. Der Frage, ob damit Differenzen gefestigt werden, weil vermittelnde Begriffe etwa auf eine Unterscheidbarkeit insistieren, ob sie auf Untrennbarkeiten hinweisen oder etwas ganz anderes sichtbar wird, gilt es mit Barad nachzugehen. Ich habe bisher verschiedene Bezeichnungen benutzt – vor allem (Ver-)Mittlerin oder Zwischenposition – und werde mich auch im Weiteren nicht auf eine beschränken. Das tue ich erstens nicht, weil im umweltepigenetischen Forschungsfeld verschiedene Begriffe vertreten sind, und zweitens, um der Mehrdeutigkeit Raum zu geben, die mit der Vielfalt an Begrifflichkeiten verbunden ist.

Alle Studien illustrieren, dass der Einfluss von Umwelten auf Gene nicht monokausal zu untersuchen ist und es sich dabei um keine einfache Wechselwirkung handelt. Die Textanalysen veranschaulichen vielmehr, dass es um dynamische Prozesse äußerer, körperlicher, sozialer, biologischer Einflüsse geht und nicht um einen linearen Weg von Ursache zu Wirkung. Wird beispielsweise der Einfluss von traumatischem Stress untersucht, zeigen die Forscher_innen veränderte epigene-

tische Zustände auf sowie phänotypische Veränderungen. Soziale und körperäußere Aspekte materialisieren sich und beeinflussen biologische Prozesse, die sich wiederum beispielsweise auf Verhalten oder Stoffwechsel auswirken. Dabei werden unterschiedliche Wirkungsweisen und Auswirkungen sichtbar, zum Beispiel in verschiedenen Generationen. Ist die erste Generation einem Einfluss direkt ausgesetzt, kann sich dieser so materialisieren, dass er sich in den nächsten Generationen ebenfalls – aber auf andere Weise – zeigt. Hier wird eine weitere relevante Kategorie vor allem transgenerationeller Forschung deutlich: die Dimension von Zeit. Dies kann einerseits im Auftreten von Phänomenen über Generationen hinweg untersucht werden, aber auch in der Beschreibung davon, wann epigenetische Markierungen Einfluss ausüben. Oftmals wird hier nur eine kurze Phase im jungen Lebensalter als sensibel beschrieben. Wird in den Studien gefragt, wie stabil ein phänotypisches Merkmal verändert wird, oder untersucht, ob diese Veränderungen reversibel sind, eröffnet das die Auseinandersetzung mit zeitlichen Vorstellungen. In jenen dynamischen Prozessen und Wechselwirkungen zwischen Körperinnen/Körperaußen, Genen/Umwelt und mehreren Generationen eröffnen sich ebenfalls Verschiebungen, die für meine weiteren Auseinandersetzungen produktiv sind.

Die ambivalente Gleichzeitigkeit lässt sich anhand der Frage verdeutlichen, welche Umweltfaktoren untersucht werden und wie dies geschieht: Die Berücksichtigung äußerer Einflussfaktoren auf physiologische und molekularbiologische Prozesse und phänotypische Veränderungen lässt sich zunächst als positiv bewerten. Denn somit werden komplexere Zusammenhänge und Interaktionen erforscht und biologische Prozesse nicht als loslösbar von ihrer äußeren Umwelt behandelt. Zugleich besteht die Gefahr einer Biologisierung äußerer Umweltfaktoren, wie zum Beispiel bei McGowan et al. (2008): »It is tempting to speculate that epigenetic processes mediate effects of social adversity during childhood on the brain that persist into adulthood and are known to enhance suicide risk.« (McGowan et al. 2008: 6) Selbsttötung wirkt dann wie eine »determinierte Zwangshandlung oder »natürliche« Konsequenz« (Krall 2017: 134, H.i.O.) der epigenetischen Veränderungen und nur indirekt über die traumatischen Gewalterfahrungen hergeleitet. Dabei findet nicht bloß eine Biologisierung des suizidalen Handelns statt. Vielmehr erscheint unklar, was einer biologischen und was einer sozialen Sphäre zugeschrieben wird. Es ist dem Forschungsteam nicht möglich, trennscharf einzelne Faktoren und deren Zusammenhang zu benennen und den epigenetischen Effekt auf die Selbsttötung zu »beweisen«. So vermischt sich beides in der Studie und die Grenze zwischen Natur und Kultur verschwimmt.

Weaver et al. (2004) stellen die Hypothese auf, dass intensive mütterliche Pflege epigenetische Markierungen beeinflusst, welche sie mit mehr Stressbewältigungsfähigkeit bei Jungtieren assoziieren. Der epigenetische Status eines Gens wird demzufolge durch mütterliches Verhalten programmiert, was sich auf Verhal-

tensweisen der Nachkomm_innen auswirkt. Umweltfaktor und biologische Folgeprozesse gehen hier ineinander über, wenn sich mütterliches Pflegeverhalten über epigenetische Mechanismen auf die Verhaltensweisen im Nachwuchs auswirkt. Auch hierbei findet eine Determinierung und Biologisierung der Verhaltensweisen statt, wenn die epigenetischen Mechanismen als Überträger des Umweltfaktors ›mütterliches Pflegeverhalten‹ dargestellt werden und dadurch die Stressbewältigungsfähigkeit der Nachkomm_innen bedingen. Die Erfahrung der Mutter wird übersetzt durch epigenetische Mechanismen der Vererbung in phänotypische Variationen beim Nachwuchs. Doch erfolgt – genau wie bei McGowan et al. (2008) – keine simple Gegenüberstellung von Natur/Kultur, sondern ein dynamischer und vielschichtiger Prozess wird erkennbar, in dem beide Sphären immer wieder auftauchen und gar nicht mehr voneinander abzugrenzen sind (vgl. Krall 2018: 10, 11).

Wie einige Autor_innen im 3. Kapitel komme auch ich zu dem Schluss, dass vieles auf die Reifizierung binärer Einteilungen und essentialistischer Argumentationen in umweltepigenetischer Forschungsliteratur hinweist. Zudem sind in umweltepigenetischen Studien Beispiele für die Zementierung einer natürlichen, heteronormativen Geschlechterordnung und für biopolitische Positionen um Selbstverantwortung und Gesundheit zu finden. Meine Annahme ist, dass es sich nichtsdestotrotz lohnt, umweltepigenetische Forschungspraxis daraufhin zu befragen, welche Grenzüberschreitungen und -verschiebungen, Uneindeutigkeiten und Verbindungen sichtbar werden und welche Implikationen für Differenzsetzungen das hat. Dazu wird unter anderem auch im zweiten Teil der Arbeit die spezifische Rolle von Muttertieren in den Studien geprüft.

Umweltepigenetische Studien ermöglichen also die Auseinandersetzung mit der Uneindeutigkeit und Untrennbarkeit von Differenzen. Das mache ich zum Beispiel an den von den Forschenden selbst formulierten Herausforderung fest, etwas zu untersuchen, genau zu bestimmen und exakte Zusammenhänge herzustellen. In allen vier Studien finden sich vorsichtige Formulierungen, dass etwas vermutet wird oder eventuell auf etwas zu schließen sei. Sowohl klare Grenzziehungen als auch vermeintlich eindeutige kausale Ableitungen zwischen äußeren Umweltfaktoren und biologischen Aspekten entgleiten. Da in den Studien einerseits explizit in binäre Kategorien wie männlich/weiblich, Tier/Mensch, Gene/Umwelt unterteilt wird und diese Differenzsetzungen andererseits verschwimmen, hinterlassen umweltepigenetische Arbeiten einen ambivalenten Eindruck.

Ich argumentiere, dass eine eindeutige oder einheitliche Beurteilung epigenetischer Forschungen unvollständig ist. Es ist daher lohnenswert, differenzierter nachzuspüren, welche Gleichzeitigkeiten und Dynamiken bestehen (vgl. Krall 2018: 15). Ich folge der Annahme, dass nicht allein binäre und deterministische Differenzsetzungen in der Umweltepigenetik vorzufinden sind und sich in einer anderen Auseinandersetzung Verschiebungen zeigen können und andere Lesarten möglich werden. Um das komplexe Verhältnis und die Implikationen dieser Ambivalenz

zu untersuchen, benötigt es weitere Auseinandersetzungen und feministisch-materialistische, sozialwissenschaftliche und wissenschaftstheoretische Begleitungen des Feldes. Ich werde dieser ambivalenten Gleichzeitigkeit nachgehen und diskutieren, wie Differenzsetzungen erfolgen und sich auflösen.

Nun besteht die Herausforderung darin, methodologisch zu klären, wie ich den Ambivalenzen in umweltepigenetischen Arbeiten nachgehen und herausarbeiten kann, was dies für Differenzsetzungen bedeutet. Die Textanalysen im 4. Kapitel ermöglichten eine Annäherung an umweltepigenetische Forschungspraxen und erlauben nun eine umfassende Einschätzung der Studien in Bezug auf Differenzsetzungen. Meine Analysen von Themen- und Begriffswahl, Vorgehen und Argumentationslinien führte primär zu wissenschaftskritischen Betrachtungen, wie sie vielfach in feministischer Wissenschaftsforschung durchgeführt werden (vgl. Ebeling, Schmitz 2006). Um nicht im Modus der Kritik beziehungsweise wissenschaftskritischer Bewertung zu verbleiben, sondern Verschiebungen und andere Anordnungen aus dem Feld herauszuarbeiten, wird Barads diffraktive Methodologie relevant. Der zweite Teil der Arbeit steigt daher mit der Vorstellung von Barads Theorie und Methodologie ein, um die gemeinsamen Anknüpfungspunkte zwischen Umweltepigenetik und agentiellem Realismus herausarbeiten zu können, die mein diffraktives Lesen kennzeichnen. Barads Arbeiten geben Antworten auf die Frage, wie es zu Differenzen kommt und welche Differenzen von Bedeutung sind (vgl. Barad 2007: 90). Dabei gelingt es Barad, sie als wirkmächtig und materiell zu behandeln und zugleich als nicht präexistierend und unveränderlich. Jene Perspektiven erweisen sich als äußerst hilfreich, um mit einem möglichst offenen Blick auf umweltepigenetische Forschungspraxis zu schauen. So kann ich den Ambivalenzen nachgehen, die das Feld selbst offenbart, und neue Perspektiven herausarbeiten, die jenseits dominanter, binärer Differenzlinien liegen. Offen danach zu fragen, was sich in der Umweltepigenetik zeigt und welches Potential es neben den problematisierten Normierungen auch birgt, wird den ambivalenten Gleichzeitigkeiten gerecht.

6. Karen Barads agentieller Realismus

Um Barads Konzepte und Methodologie für meine eigenen Analysen fruchtbar zu machen und daran anknüpfen zu können, werden diese nun ausführlich skizziert. Barads Arbeiten sind von feministischen Theorien, Wissenschaftsforschung, Quantenphysik und vielem mehr beeinflusst. Der spezifische Ansatz Barads liegt in der Verknüpfung von Natur- und Sozialwissenschaften. Der Aufbau dieses Kapitels orientiert sich an zentralen Begriffen und Perspektiven Barads, die für das diffraktive Lesen mit umweltepigenetischen Studien (8. Kapitel) relevant werden.

6.1 Zentrale Begriffe und Konzepte bei Barad

Im Bemühen, Barads Ansatz nachvollziehbar zu machen, muss ich vieles auseinander schneiden, was eigentlich verschränkt und nicht als getrennt zu denken ist. Dabei stelle ich immer wieder Bezüge zu bereits Erwähntem oder zu Begriffen her, die erst in einem späteren Unterkapitel erläutert werden. So entsteht ein Überblick über Barads relationale Ethico-Epistem-Ontologie.

6.1.1 Agentieller Realismus und Ethico-Epistem-Ontologie

»realism is reformulated in terms of the goal of providing accurate descriptions of agential reality – that reality within which we intra-act and have our being – rather than some imagined and idealized fixed eternal reality.« (Barad 2001: 109)

Barads als agentieller Realismus bezeichneter Ansatz ist dadurch charakterisiert, dass die ethische, ontologische und epistemologischen Ebene nicht getrennt voneinander verstanden werden, sondern als untrennbar verbunden (vgl. Barad 1998: 120). Es geht darum, das Zusammenwirken des Menschlichen/Nicht-Menschlichen, des Materiellen/Diskursiven und natürlicher/kultureller Faktoren in Wissenschaft zu verstehen (vgl. Barad 2007: 27) und tradierte Unterscheidungen zu hinterfragen (vgl. ebd.: 226). Anhaltspunkte dafür sucht Barad in sozial-materiellen Praktiken, durch die Differenzsetzungen hervorgebracht werden (vgl. ebd.: 209). Gegenstand ihrer Auseinandersetzungen sind oftmals (natur-)wis-

senschaftliche Praktiken, in denen es nicht nur um eine erkenntnistheoretische Perspektive geht. Barad entwickelt »eine Ontologie des Wissens« (ebd.: 342) und einen umfassenderen ethico-onto-epistemologischen Ansatz.

Barads Arbeiten sind in feministische Wissenschaftstheorie einzuordnen, die klassische Prämissen naturwissenschaftlicher Forschung hinterfragt. Kritisiert wird dort etwa die Vorstellung objektiven Forschens im Sinne von unvoreingenommen, nicht interessensgeleitet und wertneutral, und es wird herausgearbeitet, inwiefern Wissensproduktion immer im Kontext spezifischer Ressourcen und Interessen steht: »it is that knowledge is not there to be discovered or is inherent in any scene or object, but that knowledge generation is an active engagement.« (Subramaniam 2014: 2) Jene Auseinandersetzungen fokussieren oft eine wissenschaftskritische und epistemologische Ebene. Nun schlägt Barad vor, »to question the traditional Western philosophical belief that ontology and epistemology are distinct concerns« (Barad 2007: 43), und einen realistischeren Ansatz einzunehmen: Ihre »agential realist ontology« (Barad 2003: 814) macht die onto-epistemologische¹ Verbindung aus, der sie auch eine ethische Perspektive hinzufügt, wie ich später noch ausführen werde.²

Ontologische Fragen integriert Barad unter anderem durch die Arbeiten des Quantenphysikers Niels Bohr. Bohr ging anders als die Physiker Albert Einstein oder Werner Heisenberg nicht von einer von Beobachtenden autonom existierenden Welt aus, die unabhängig von der experimentellen Untersuchung dieser beschreibbar ist (vgl. Barad 2015a: 34).³ Er distanziert sich von einer klassisch realistischen Sicht, nach der die Welt aus voneinander unabhängig existierenden Dingen besteht, die entdeckt werden können:

»The ontology of the world is a matter of discovery for the traditional realist. The assumed one-to-one correspondence between scientific theories and reality is used to bolster the further assumption that scientific entities are unmarked by the discovers: nature is taken to be revealed by, yet independent of, theoretical and experimental practices, that is, transparently given.« (Barad 2007: 41)

An den letzten Punkt schließen feministische Wissenschaftskritiken an, die die Vorstellung problematisieren, dass sich Naturwissenschaftler_innen mit natürli-

1 Barad verwendet verschiedene Schreibweisen: »epistem-onto-logical« (Barad 1998: 120, Endnote 1), »Onto-epistem-ology« (Barad 2003: 829) und »ontoepistemological« (Barad 2007: 44). Aus diesem Grund variiere auch ich die Ausdrücke.

2 Auch Latour bezeichnet »die Grenzziehung zwischen ontologischen und epistemologischen Fragen als weitgehend illusorisch« (Latour 2002: 171).

3 Ich möchte darauf hinweisen, dass inzwischen einige Artikel Barads sowie zwei Kapitel aus ihrer Monographie (2007) ins Deutsche übersetzt wurden. Ich benutze überwiegend die englischen Originaltexte. Im Fall von Barads Text *Meeting the Universe Halfway* (Barad 1996) nutze ich die deutsche Übersetzung von Jennifer Sophia Theodor (Barad 2015a).

chen und daher unbeeinflussten Phänomenen beschäftigen und das Ablesen der Natur daher die Wahrheit über die untersuchten Phänomene liefere (vgl. Subramaniam 2014: 2).

Realistische und objektivistische Positionen stehen oftmals in Opposition zu (de-)konstruktivistischen Konzepten. Barad macht eine verbindende Perspektive stark, die weder die eine noch die andere Seite präferiert. Sie leugnet weder komplett einen Zugang zur Natur, noch bejaht sie eine rein realistische Lesart. Sie plädiert dabei aber für einen ontologischen Zugang bei der Auseinandersetzung mit Wissensproduktionen und -praxen (vgl. Barad 2007: 42). Ohne davon auszugehen, dass es voneinander unabhängige Entitäten gibt, die Forschende von außen betrachten können, fragt sie nach dem Zugang zur Ontologie der Welt (vgl. ebd.: 43) und bemüht sich, dies nicht als Gegensatz zu platzieren. Epistemologie, Ontologie und Ethik sind im agentiellen Realismus un/trennbar. Barad entwickelt ihren theoretischen Zugang über gängige binäre Einteilungen hinweg:

»Ich versuche, das Zusammenspiel von Materiellem und Kulturellem in der Erzeugung einer Ontologie zu verstehen. Daher werde ich deutlich mehr Betonung auf ontologische Fragen legen, als in der Wissenschaftsforschung üblich ist, gleichwohl auch die epistemologischen Fragen nicht ignorieren. Denn ebenso wie Haraways materiell-semiotische Akteur_innen liegt die von mir angebotene Ontologie nicht außerhalb von Epistemologie.« (Barad 2015a: 14)⁴

Barad begreift Natur/Kultur und Materie/Diskurs nicht als entgegengesetzt, sondern als zusammengehörig und verschränkt. Dabei hinterfragt sie die selbstverständlichen Zuschreibungen und Benennungen von materiellen Dingen, leugnet aber weder die Existenz einer materiellen Realität noch die diskursive Einflusskraft:

»agential realism rejects the notion of a correspondence relation between words and things and offers in its stead a causal explanation of how discursive practices are related to material phenomena. [...] Crucial to this theoretical framework is a strong commitment to accounting for the material nature of practices and how they come to matter.« (Barad 2007: 44, 45)

Barad hält es für wenig produktiv, an den Vorwürfen festzuhalten, die sich unterschiedliche Theorietraditionen machen. Demnach begreifen Poststrukturalist_innen beispielsweise jegliche materielle Existenz als (sprachlich) konstruiert. Realist_innen hingegen setzen eine präexistierende Welt voraus, zu der Forschende einen direkten Zugang haben, und daher ein objektives Erforschen möglich ist.

4 Haraway versteht »Körper als Wissensobjekte materiell-semiotische[r] Erzeugungsknoten. Ihre Grenzen materialisieren sich in sozialer Interaktion.« (Haraway 1995d: 96, H.i.O.)

Barad verneint nicht, dass es immer schon etwas gibt, versteht dies aber weder als präexistierende Entität noch als erst durch Diskurse und sprachliche Benennung entstehend:

»the primary ontological units are not ›things‹ but phenomena – dynamic topological reconfigurings/entanglements/relationalities/(re)articulations of the world. And the primary semantic units are not ›words‹ but material-discursive practices through which (ontic and semantic) boundaries are constituted.« (ebd.: 141, H.i.O.)

Mit dem Begriff des Phänomens, den sie bei Bohr entlehnt und der hier eine zentrale Rolle spielt, verdeutlicht Barad diese Sichtweise: »Phänomene sind materiell-kulturelle Da-Seins. Agentischer Realismus beruht auf einer nicht-klassischen Ontologie. Das Materielle ist nicht fixiert und vorgängig zu diskursiver Bedeutungsgebung, sondern in ihr.« (Barad 2015a: 61) Der Bezug zu Bohrs Verständnis von Quantenphysik liegt unter anderem nahe, weil die Wechselwirkung zwischen Apparat und Untersuchungsobjekt hier als untrennbarer Teil des Phänomens betrachtet wird (vgl. ebd.: 26). »He uses the term *phenomenon*, in a very specific sense, to designate particular instances of wholeness« (Barad 2000: 231, H.i.O.).

Der Streit zwischen Bohr und Heisenberg über quantenphysikalische Grundlagen bietet für Barad einen Ausgangspunkt, den Versuch jenes Zusammendenkens von materiell/diskursiv und epistemologisch/ontologisch plausibel zu machen. Da Bohr laut Barad keinen expliziten ontologischen Bezug herstellt, schlägt sie selbst einen vor, den sie für konsistent mit seinen Annahmen hält (vgl. Barad 2015a: 20). Dazu greift sie Bohrs Aussagen über die Möglichkeit objektiven und transparenten Messens auf: Wer davon ausgeht, dass die Welt aus voneinander unabhängig existierenden Dingen besteht, meint auch, sie ergründen und entdecken zu können, ohne selbst Einfluss darauf zu nehmen. Nimmt man dies hingegen nicht an, dann muss auch das Erforschen und Untersuchen unter einem anderen Gesichtspunkt verstanden werden, nämlich als das zu untersuchende Phänomen mit konstituierend. Mit diesem Standpunkt stellte Bohr die Messtransparenz in Frage, die der Newton'schen Physik zugrunde liegt. Außerdem zweifelte er die Möglichkeit klarer Unterscheidbarkeit von Objekt und Apparat sowie der universellen Anwendbarkeit physikalischer Konzepte auf sämtliche Phänomene an (vgl. ebd.: 23). Beobachtungsobjekte und Beobachtende wurden von Bohr weder als konzeptuell noch als physisch trennbare Positionen verstanden. Bohr ging stattdessen von einer Quantenganzheit aus. Für ihn wurden durch Quantenphysik gängige ontologische Klassifikationen von Entitäten wie Welle oder Teilchen hinfällig (vgl. Barad 2012a: 41). Entscheidend für Barads Verständnis von Ontologie ist:

»Eine Bohr'sche Ontologie beinhaltet keine starre Vorstellung von Sein, die der Bedeutungsgebung vorgängig wäre (wie die klassische Realist_in annimmt), doch ist Sein auch nicht völlig unzugänglich für Sprache (wie im transzendentalen Idealis-

mus) oder völlig aus Sprache (wie in linguistischem Monismus) – was beschrieben wird, ist unsere Teilhabe in Natur, was ich ›agentische Realität‹ nenne.« (vgl. Barad 2015a: 38, H.i.O.)

Während Heisenberg die Unschärferelation formulierte und von einer epistemologischen Schwäche ausging, führte Bohr die Unmöglichkeit einer Messung auf eine Unbestimmtheit zurück. Messstörungen galten als abstrahierbar vom Ergebnis. Dem widersprach Bohr und leitete von der inhärenten Unbestimmtheit die nicht inhärente Trennbarkeit von Objekt und Beobachter_in ab. Barad geht einen Schritt weiter, wenn sie annimmt, dass diese Unbestimmtheit nicht nur epistemologisch ist, sondern zugleich ontologisch.⁵ In Bezug auf Bohrs Komplementaritätsprinzip, also die Annahme, dass Messinteraktionen von Unbestimmtheit geprägt und zu messende Eigenschaften nicht inhärent sind und zudem verschiedene Attribute nicht zugleich gemessen werden können, schreibt sie: »Complementarity is an ontic (not merely an epistemic) principle.« (Barad 2007: 309) Barads Argument ist, dass Objekt und Beobachtungsinstanz nicht nur epistemologisch nicht zu trennen sind, sondern auch ontologisch untrennbar sind. Der agentielle Realismus macht deutlich, wie alles verschränkt und im ständigen Re-Konfigurieren, im Wechsel von Bestimmt-Unbestimmt ist, weder bestimmt noch unbestimmt. Aus diesem Grund verwendet Barad den Schrägstrich in Un/Bestimmtheit.

In ihren Texten bezieht sich Barad auf Naturwissenschaften und vor allem auf ihre Stammdisziplin Physik. Barad fordert tradierte Einteilungen und somit auch Naturwissenschaften heraus, indem sie erarbeitet, wie naturwissenschaftliche Konzepte erst durch Bezug auf bestimmte physikalische Apparate Bedeutung erlangen (vgl. Barad 2015a: 54). Demnach decken wissenschaftliche Praxen nicht das auf, was schon da ist. Was aufgedeckt wird sind Effekte intra-aktiver Beteiligung unserer Teilnahme an und als Teil des differenzierten Werdens der Welt (vgl. Barad 2007: 361): »And furthermore, the point is not merely that knowledge practices have material consequences but that *practices of knowing are specific material engagements that participate in (re)configuring the world.*« (ebd.: 91, H.i.O.)

6.1.2 Differenzen, Grenzziehungen und Verschränkungen

Barad bezeichnet Differenzen als Grundlagen des Wissens, die aber nicht aufgrund natürlicher cartesianischer Schnitte existieren, sondern machtgeladene epistemologische Entscheidungen sind, die erst aus spezifischen konzeptuellen Modellen hervorgehen. Davon ausgehend schlägt sie eine Theorie vor, die auf die Bedeutung konstruierter Grenzen und auf die Notwendigkeit ihrer Infragestellung und

5 Aus diesem Grund ist »indeterminacy« im Kontext von Barads Theorie mit Un/Bestimmtheit zu übersetzen, zielt Unbestimmbarkeit doch primär auf eine epistemologische Herausforderung ab. Auf dieses Barad'sche Konzept komme ich in 6.1.6 zu sprechen.

Umgestaltung hinweist (vgl. Barad 2015a: 59). Sie fordert eine Analyse der Praxen, durch die verschiedene Grenzen hervorgerufen werden: Im agentiellen Realismus geht es darum zu verstehen, wie Unterschiede produziert werden und sich materialisieren, und dieser »calls for a critical examination of the practices by which the differential boundaries of the human and the nonhuman, and the social and the natural, are drawn, for these very practices are always already implicated in particular materializations.« (Barad 2007: 209, 210)

Obwohl Barad die cartesianischen Spaltungen als Illusion aufdeckt (vgl. Barad 2015a: 60, 61), bezeichnet sie auch das Überwinden von Grenzen als Utopie (vgl. ebd.: 48). In diesem Sinne formuliert Barad, dass nicht die Auflösung von Grenzen zu verfolgen ist, denn sie sind notwendig, um Bedeutung zu schaffen. Da Differenzen aber immer folgenreich sind und in Materialisierungen gefestigt, sind sie keineswegs als unschuldig zu verstehen (vgl. ebd.: 59). Barads Anliegen ist es daher, Grenzziehungen nachzuvollziehen und aufzudecken, um zu widerlegen, dass sie unveränderlich sind. Dabei geht es darum, sie zu verschieben und somit auf ihre machtvollen Folgen und materialisierenden Effekte hinzuweisen. Es ist nicht Barads Anliegen, »weniger falsche Grenzen« zu finden, »sondern verlässliche, verantwortliche, lokalisierte, temporäre« (ebd.) Grenzziehungen. Unterscheiden ist nach Barad ein materieller Akt und nicht die Trennung ist zentral, sondern die Verbindung (vgl. Barad 2012a: 47). So gelingt es, Verschränkungen zu betonen, die über Verflechtungen hinausgehen (vgl. Barad 2007: 160)⁶, und eine nicht binäre Perspektive einzunehmen, in denen Gegensätze »materiell/diskursiv« nicht mehr als getrennt erscheinen.

Barad ist daran interessiert, welche Rolle natürliche und kulturelle Faktoren in der naturwissenschaftlichen Wissensproduktion spielen (vgl. Barad 2015a: 22). Dabei geht es nicht darum, eine starre Grenze zwischen Natur und Kultur anzunehmen oder Natur durch die kulturelle Linse zu sehen und als bloß kulturelles Konstrukt aufzudecken (vgl. ebd.: 57), sondern um eine radikale Bearbeitung und Erneuerung des Dualismus von Natur/Kultur (vgl. Barad 2012a: 47). Damit ist die Herausforderung verbunden, Dualismen und binäre Grenzziehungen nicht als immer schon gegeben anzunehmen, aber dennoch ihre (materielle) Existenz und Wirkmächtigkeit anzuerkennen, um sie untersuchen und verstehen zu können und dadurch zu verschieben. In diesem Sinne verstehe ich auch Barads Aufforderung, dass es Analysen braucht, um Soziales und Natürliches als verbunden zu denken (vgl. Barad 2007: 25). Es mag irritieren, dazu aufzufordern, etwas zusammen zu denken, dessen Trennung man ohnehin als nicht inhärent versteht. Die Sorge, die Unterscheidung in Natur und Kultur selbst zu reproduzieren, wird dabei jedoch nicht bestätigt, denn es geht darum, auf Verschränkungen hinzuweisen und nicht auf die inhärente Separierbarkeit.

6 In ähnlicher Weise spricht Latour von der »Verwicklung mit den Dingen« (Latour 2002: 174).

Da Barad sich auch von einem konventionellen Naturbegriff distanziert, gelingt es ihr, auch den Dualismus nicht zu reproduzieren. In Bezug auf (Natur-)Wissenschaft und das Erforschen schreibt sie: »what is being described by our theories is not nature itself but our participation *within* nature.« (Barad 2001: 109, H.i.O.) Dies widerspricht der Vorstellung unabhängig existierender Naturphänomene, die erforscht und gemessen werden können. Die Un/Trennbarkeit natürlicher und nicht-natürlicher Sphären kann verschiedentlich benannt werden: Barad knüpft an Haraways »naturecultures« an,⁷ spricht auch von »naturalsocial« (Barad 2007: 210) und dem Zusammenspiel von Materiellem und Kulturellem (vgl. Barad 2015a: 14). Jede Bezeichnung macht deutlich, dass beides un/trennbar ist und nie final unterschieden werden kann.

Ich argumentiere, dass es genau die »Untrennbarkeit von Natur-Kultur/Wert-Welt/physikalisch-konzeptionell/materiell-diskursiv« (ebd.: 48) ist, die zwar auf die Dualität dieser und weiterer Begriffspaare hinweisen kann, jedoch auch ihre onto-epistemologische Verschränkung betont, wie Barad schreibt: »Entanglements are not unities. They do not erase differences; on the contrary, entanglings entail differentiatings, differentiatings entail entanglings. One move – *cutting together-apart*.« (Barad 2014: 176, H.i.O.) In *Meeting the Universe Halfway* geht es um Verschränkungen und darum, eine Methodologie zu entwickeln, die die spezifischen materiellen Verschränkungen in ihrem agientiellen Werden beachtet und verantwortlich behandelt (vgl. Barad 2007: 58). Barad will Verschränkungen erforschen und fragt sich, wie das möglich ist. Schließlich handelt es sich hierbei um »highly specific configurations« (ebd.: 74), die sich mit jeder Intra-aktion verändern. Wenn sie schreibt, dass Wissen verschränkt Sein bedeutet (vgl. ebd.: 247), und Objektivität heißt, Verantwortung für die eigene Verschränktheit zu übernehmen (vgl. ebd.: 248), wird erneut deutlich, dass sie sich in einer wissenschaftstheoretischen Diskussion befindet, deren Gegenstandsbereich sie über eine epistemologische Ebene hinaus ausweitet. Verschränkungen sind hier nicht rein epistemologisch gemeint, sondern auch ontologisch und ethisch: »Entanglements are not interwinings of separate entities but rather irreducible relations of responsibility.« (Barad 2012a: 46) Wenn von Verschränkungen die Rede ist, könnte angenommen werden, dass es einzelne Entitäten gibt, die sich verschränken. Vielmehr verstehe ich aber Verschränkungen als unübersichtliche und komplexe Gefüge, aus denen heraus temporär und lokal Phänomene hervortreten.

In ihrem Text *On Touching* (Barad 2015b) macht Barad ihr Verständnis von Verschränkungen mit Hilfe des Begriffs der Berührung deutlich. So wie sie davon ausgeht, dass binäre Pole immer wieder als solche hergestellt und getrennt werden

7 Haraway prägte den Begriff »naturecultures« in *The Companion Species Manifesto* (Haraway 2003). Dieser Ausdruck betont die Verbindungen binärer Einteilungen: »Flesh and signifier, bodies and words, stories and worlds: these are joined in naturecultures.« (Haraway 2016: 112)

und eigentlich auf materielle Verschränkungen zurückzuführen sind, schreibt sie: »materiality ›itself‹ is always already touched by and touching infinite configurations of other beings and other times.« (Barad 2015b: 161, H.i.O.) Phänomene und Differenzen treten also stellenweise als aus separaten Teilen bestehend hervor, handelt es sich doch um un/bestimmte und verschränkte Materialisierungen, die in ihrer Untrennbarkeit das andere und vermeintlich Entgegengesetzte immer schon und niemals berühren, da sie nicht völlig loslösbar voneinander sind. Jedes Phänomen ist immer verbunden und verschränkt mit anderen, ist niemals gänzlich getrennt und separat.

Phänomene sind immer schon verschränkt und Materie offen und verschränkt mit ›Anderen‹. Sowohl Subjekte als auch Objekte sind durchdrungen von ihren verschränkten Verwandten (vgl. Barad 2007: 392; Barad 2015b: 161). In diesen Materialisierungen ist auch immer eine ethische Perspektive zu berücksichtigen (vgl. Barad 2010: 265). »Entanglements are relations of obligation – being bound to the other – enfolded traces of othering. Othering, the constitution of an ›other‹, entails an indebtedness to the ›other‹, who is irreducibly and materially bound to, threaded through, the ›self‹« (ebd., H.i.O.) Alle sind Teil der Phänomene und somit verschränkt und stellen sie zugleich her.

Über die Verschränkungen mit Anderen_m, für die Verantwortung übernommen werden muss, bringt Barad den ethischen Anspruch ein (vgl. Barad 2007: 392, 393):

»touching, sensing, is what matter does, or rather, what matter is: matter is condensations of response-ability. Touching is a matter of response. Each of ›us‹ is constituted in response-ability. Each of ›us‹ is constituted as responsible for the other, as being in touch with the other.« (Barad 2015b: 161, H.i.O.)

Auch Erkennen oder Forschen ist nicht als Schauen aus der Distanz misszuverstehen, sondern ist direkte materielle Verschränkung und Beteiligung mit und an der Welt: »I do not merely reflect on science, I engage in the practice of science while addressing entangled questions about the nature of scientific practice.« (Barad 2007: 248, H.i.O.) Während Physiker_innen wie Erwin Schrödinger Verschränkungen in einem epistemischen Sinne und beispielsweise Wissen über ein untersuchtes Objekt und ein Messinstrument als relevanten verschränkten Faktor verstanden, bezieht Barad zudem eine ontologische und eine ethische Komponente der Verschränkung mit ein. So macht sie auch die Verantwortlichkeit der Forschenden explizit: »The attending ethico-onto-epistemological questions have to do with responsibility and accountability for the entanglement ›we‹ help enact and what kinds of commitments ›we‹ are willing to take on, including commitments to ›ourselves‹ and who ›we‹ may become.« (ebd., H.i.O.) Darauf komme ich in 6.1.5 erneut zu sprechen.

6.1.3 Von agentieller Separierbarkeit und Intra-aktionen, Phänomenen und ›spacetime-matterings‹

Ein weiterer zentraler Begriff bei Barad und für mein diffraktives Lesen umwelt-epigentischer Studien ist die Intra-aktion.

»My reading is that the measured properties refer to phenomena, remembering that phenomena are physical-conceptual ›intra-actions‹ whose unambiguous account requires ›a description of all relevant features of the experimental arrangement.‹ I introduce the neologism ›intra-action‹ to signify the *inseparability of ›objects‹ and ›agencies of observation‹* (in contrast to ›interaction‹, which reinscribes the contested dichotomy).« (Barad 1998: 96, H.i.O.)

Erst durch spezifische agentielle Intra-aktionen werden Grenzen und Eigenschaften der kausal zusammenhängenden Komponenten von Phänomenen ontologisch bestimmt. Damit erlassen Intra-aktionen auch agentielle Schnitte (vgl. Barad 2007: 339). Das bedeutet, dass alle_s erst durch Intra-aktionen konstituiert wird und dadurch Trennung in separate Komponenten möglich ist. Die Trennbarkeit ist aber nicht absolut, weder zeitlich noch räumlich konsistent, sondern »intra-actively enacted relative to a specific phenomena« (ebd.). Mit dieser Perspektive erhalten Differenzsetzungen eine andere Bedeutung jenseits des cartesianischen Verständnisses, wonach sie als natürliche und gegebene Einteilungen gelten. Im agentiellen Realismus entstehen sie erst durch spezifische Intra-aktionen, die agentielle Schnitte erlassen und so beispielsweise die Trennung von Subjekt und Objekt hervorrufen. Barad spricht hier auch von einer »local resolution«, die zu einer »agential separability« (Barad 2012a: 32, H.i.O.) führt. Wenn Bedeutungen erst durch Einteilungen und Trennbarkeit entstehen, so macht es auch Sinn, Differenzen nicht völlig abschaffen zu wollen beziehungsweise der Illusion zu verfallen, dies tun zu können. Vielmehr ist zentral, Folgendes zu begreifen: »Die Uneindeutigkeit wird nur temporär und kontextuell entschieden, und somit bezeichnen beschreibende Charakterisierungen nicht Eigenschaften abstrakter Objekte oder beobachtungs-unabhängiger Wesen [beings], sondern beschreiben vielmehr das ›Zwischen‹ unserer Intra-aktionen, wie es durch spezifische, konstruierte Grenzlinien markiert ist.« (Barad 2015a: 42, H.i.O.)

Nach Barad gibt es weder Wörter mit feststehenden Bedeutungen noch Materialisierungen mit festliegenden Grenzen und Eigenschaften. Im Gegenteil seien sie außerhalb bestimmter Intra-aktionen un/bestimmt (vgl. Barad 2007: 128). Ich stelle es mir wie eine große Masse vor, ein großes Ganzes, das aber nicht als verschwommen und verschränkt wahrgenommen wird, da immer Einteilungen getroffen werden und Phänomene mit Bedeutungen entstanden sind. So verstehe ich auch Barads Bemerkung, dass man nicht nur mit den Augen sieht, sondern mit Intra-aktionen (vgl. ebd.: 157). Welt versteht Barad als dynamischen Prozess

von Intra-aktivität und Materialisierung durch bestimmte kausale Strukturen (vgl. ebd.: 141). »Reality is therefore not a fixed essence. *Reality is an ongoing dynamic of intra-activity.*« (ebd.: 206, H.i.O.)

So wird erneut der Versuch deutlich, eine Perspektive stark zu machen, nach der weder alles unabhängig existiert und Entitäten immer schon gegeben sind, noch alles konstruiert und erst durch sprachliche Benennungen hergestellt wird. Barad will vielmehr ein Verständnis etablieren, nach dem es immer schon etwas gibt, die Formen, Grenzen und Eigenschaften materialisiert sind und wieder erlöschen. »Intra-actions enact cuts that cut (things) together-apart (one move).« (Barad 2015c: 406) Mit der Gleichzeitigkeit von »together-apart« betont Barad ein Dazwischen. Nach Barad gibt es keinen Widerspruch zwischen Materialität und Konstruktion, denn in ihrem Verständnis bestreitet die Konstruiertheit nicht die Materialität. Und auch die Materialität ist nicht durch die Annahme des Konstruiertseins aufgelöst »da Realität durch das ›Zwischen‹ konstituiert ist, durch die Untrennbarkeit von Natur-Kultur/Welt-Wort/physikalisch-konzeptuell/materiell-diskursiv.« (Barad 2015a: 48, H.i.O.) Barad fokussiert auf das Zwischen von Komponenten, die als konträr gelten. Genau in diesem Zwischen löst sich eine binäre Logik auf, die Grenzen und ihre Bedeutung anerkennt, aber nicht als unveränderlich und ahistorisch begreift. Es gibt immer schon etwas, das zusammenwirkt, aber es wird erst auseinander (und zusammen) geschnitten. So kann nicht davon die Rede sein, dass etwas interagiert, denn die Sphären sind nicht immer schon klar umrissen. Es sei vielmehr von Intra-aktionen auszugehen, so Barad.

Vor diesem Hintergrund ist kein Wissensgewinn im klassisch positivistischen Sinne möglich. Denn wenn von einer agentiellen statt von einer beobachtungs-unabhängigen Realität auszugehen ist (vgl. ebd.: 39), dann sind Phänomene nicht einfach zu entdecken und zu beobachten, sondern müssen als Produkte der Intra-aktionen und der Zwischenposition verstanden werden. So sind auch naturwissenschaftliche Konzepte nach Barad »nicht unschuldig«, ⁸ sondern »Konstrukte, die benutzt werden können, um eher ›das Zwischen‹ als eine unabhängige Realität zu beschreiben.« (ebd.: 56, H.i.O.) Das Konzept der Intra-aktion und die Betonung des Dazwischen sind hilfreich, um auf das Zusammenhängende, das Verschränkte, hinzuweisen, das durch Schnitte immer wieder eingeteilt wird. Und so versteht Barad auch Naturwissenschaften als »eine Bewegung zwischen Bedeutungen und Materie, Wort und Welt, Grenzen untersuchend und verschiebend, ein Tanz nicht hinter oder außerhalb, sondern in ›dem Zwischen‹, wo Wissen und Sein sich treffen.« (ebd.: 55, H.i.O.) Die Zwischenposition deutet auf die Gleichzeitigkeit von getrennt und nicht ge-

8 Haraway macht in ihrem Cyborg Manifest deutlich, dass es keine *unschuldige* Position geben kann (vgl. Haraway 1995a: 70).

trennt sowie von bestimmt und nicht bestimmt hin (un/getrennt, un/bestimmt etc.).⁹

Vieles bei Barad bezieht sich auf (quanten-)physikalische Inhalte und sie entwickelt ihre Gedanken und Begriffe häufig in Auseinandersetzung mit Bohr. Am Beispiel des Messens veranschaulicht Barad, dass sie Phänomene als Intra-aktionen eines beobachteten Objekts und einer Messhandlung oder eines Apparats versteht (vgl. Barad 2007: 128; Barad 2012a: 43). Es gibt demnach keine vorhergehende Trennung zwischen Forschungsobjekt und -apparat. Getrennt wird erst im Messen durch Referenz auf spezifische Körper. Es sind Bedingungen wie die experimentellen Anordnungen, die ein Element (der Beschreibung) von Phänomenen konstituieren und Eindeutigkeit für den Kontext herstellen. Mit Referenz auf Bohr versteht Barad physikalische Realität somit als »*notion of a phenomenon that includes the entire experimental arrangement, and not some abstract notion of an observation-independent object.*« (Barad 2007: 275) Für Bohr produzieren erst die Apparate das Phänomen: »*Apparatuses, in Bohr's sense, are not passive observing instruments. On the contrary, they are productive of (and part of) phenomena.*« (Barad 2000: 234) Dies verdeutlicht gut Barads Punkt, dass es keine abgegrenzten Entitäten gibt, sondern verschiedene Phänomene erst in agentiellen Intra-aktionen wie zum Beispiel durch Messen konstituiert werden. Und zugleich bilden diese Phänomene dann das, was benannt und erkannt wird. Eine Trennung von sprachlich und materiell zu denken, liefe entgegen des agentiellen Realismus.¹⁰ So schreibt Barad: »*Wissensprojekte bedingen die Setzung von Grenzen, die Produktion von Phänomenen, die materiell-kulturelle Intraaktionen sind. Das heißt, unsere konstruierten Wissen haben reale, materielle Konsequenzen.*« (Barad 2015a: 50, 51)

Was Barad hier als real bezeichnet, ist aber eben weder als solches präexistent noch unveränderlich. Im Gegenteil sind Phänomene konstitutiv für Realität, die agentiell und intra-aktiv konstituiert ist: »*Reality is composed not of things-in-themselves or things-behind-phenomena but of things-in-phenomena.*« (Barad 2007: 140) Ihre Texte beziehen sich überwiegend auf naturwissenschaftliche Beispiele, doch will Barad ihr Verständnis von Phänomenen nicht nur auf Laboruntersuchungen verstanden wissen oder als Effekte menschenbasierter Konzepte (vgl. ebd.: 338). Sie müssen nicht erst gedacht werden, um zu existieren: Phänomene

9 Es sei daran erinnert, dass die Position zwischen zwei Sphären auch in der Umweltepigenetik besonders prägnant ist. Aus diesem Grund werde ich auch das umweltepigenetische mit dem agentiell realistischen Verständnis von Zwischenpositionen im 8. Kapitel durch einander hindurch lesen.

10 Latour macht einen ähnlichen Punkt, wenn er schreibt, dass Aussagen nicht nur über Sprache getroffen werden, sondern man mit den Dingen verwickelt ist, über die man spricht (vgl. Latour 2002: 174), und somit die Trennung zwischen Sprache und Dingen obsolet wird (vgl. ebd.: 171).

brauchen keinen kognitiven Geist für ihre Existenz, so Barad, sondern im Gegenteil sind die »minds« selbst materielle Phänomene, die durch spezifische Intra-aktionen entstehen (vgl. ebd.: 361). Wissensproduktion beschreibt sie daher auch als sozial-materielle Inszenierung und Forschende als Teil des Phänomens.

Auch Raum und Zeit sind keine festen Größen, sondern genauso intra-aktiv erlassen wie andere Phänomene. Das bedeutet, dass Phänomene nicht immer in denselben Räumen oder Zeiten lokalisiert werden können, da diese keine fixen externen Parameter darstellen, die immer gleich bleiben (vgl. ebd.: 16). Die Un-/Möglichkeit der räumlichen und zeitlichen Festschreibung ist dadurch begründet, dass Raum und Zeit selbst agentiell und Bestandteil von Phänomenen sind, die eben nicht dauerhaft existieren, sondern immer wieder (re-)konfiguriert werden.

»Time is not a succession of evenly spaced individual moments. It is not simply there as a substance or measure, a background uniformly available to all beings as a reference or an ontological primitive against which change and stasis can be measured. [...] spatiality and temporality must also be accounted for in terms of the dynamics of intra-activity.« (ebd.: 180)

Diese radikale Infragestellung gewohnter Einteilungen ermöglicht, über Unterschiede ohne Bezug auf feststehende Konzepte von Identität oder Raum nachzudenken. So fragt Barad »what is the nature of difference if differentiating doesn't happen in space and time but in the making of spacetime mattering?« (Barad 2012a: 32)

Weder räumliche noch zeitliche Einteilung sind im agentiellen Realismus feststehend und gegeben. So stößt zum Beispiel das gängige Verständnis von Erinnerung an seine Grenzen. Zurückerinnern bezeichnet für gewöhnlich das gegenwärtige Denken an Vergangenes. Barad versteht Erinnern jedoch nicht als Wiederversammeln von dem, was war, denn:

»The past matters and so does the future, but the past is never left behind, never finished once and for all, and the future is not what will come to be in an unfolding of the present moment; rather the past and the future are enfolded participants in matter's iterative becoming.« (Barad 2007: 181)

Erinnern ist zudem nicht eine Fähigkeit, die Barad bloß Menschen zuschreibt: »Memory is written into the worlding of the world in its specificity, the ineliminable trace of the sedimenting historicity of its iterative reconfiguring.« (Barad 2018: 239) Dies macht deutlich, dass das selbstverständliche Verweisen auf zeitliche Kontinuität etwas beinhaltet, über das eigentlich gar nicht verfügt werden kann, und Raum, Zeit und Materie zusammenhängen.

Die Bezeichnung »spacetime mattering« steht für das bereits erwähnte und unüberschaubare Ganze, eine nicht wahrnehmbare Masse und Ganzheit (wholeness). Phänomene sind Verschränkungen der »spacetime matterings«, der ontologischen

Un/Bestimmtheit und erst durch Intra-aktionen ist agentielle Separiertheit möglich (vgl. Barad 2012a: 32). Teil von einer Masse zu sein und als solcher nur lokal und temporär bestimmt, bedeutet, dass es keine Position außerhalb des Phänomens gibt. Diesen Aspekt bezeichnet Barad als »*exteriority-within-phenomena*« (ebd.: 32, H.i.O.). Es wird etwas als Phänomen erkennbar und tritt als materiell-diskursive Entität hervor, ist aber nicht vollständig loslösbar von den Bedingungen und Intra-aktionen, denn »*intra-actions enact agential separability – the condition of exteriority-within-phenomena*.« (Barad 2007: 140, H.i.O.)

Die Intra-aktionen führen nicht nur zu materiellen Anordnungen, sondern erlassen auch einen agentiellen Schnitt innerhalb des Phänomens. Barad schreibt:

»The crucial point is that the apparatus enacts an agential cut—a resolution of the ontological indeterminacy—*within the phenomenon, and agential separability—the agentially enacted material condition of exteriority-within-phenomena—provides the condition for the possibility of objectivity.*« (ebd.: 175, H.i.O.)

Dies beschreibt, wie trotz Abwesenheit inhärenter Grenzen und Eigenschaften einzelne Phänomene sichtbar werden. Die ontologische Unbestimmtheit wird temporär und lokal gelöst und Bedeutungen werden durch agentielle Schnitte erlassen. Dabei entstehende Phänomene sind aber immer noch charakterisiert durch die ontologische Untrennbarkeit der agentiell intra-agierenden Komponenten (vgl. ebd.: 308, 309). Auch durch wissenschaftliche Praxen, durch Messen oder Experimentieren entstehen Phänomene und werden so agentiell abgetrennt, beobachtbar und beschreibbar. Dabei kann niemals ein Blick von außerhalb des Phänomens eingenommen werden, da man immer auch Teil des Phänomens und seiner intra-aktiven Herstellung ist.

6.1.4 Agentielle Schnitte und Apparate

Für die wissenschaftliche Praxis schlägt Barad vor, ein Experiment als Ereignis¹¹ mit spezifischen Bedingungen zu sehen: Auch wenn es den Anschein machen könnte, im Labor immer dieselben Bedingungen anzutreffen, über dieselben Messinstrumente zu verfügen und nur das Untersuchungsobjekt auszutauschen, so gibt es nach Barad eben keine inhärente Unterscheidung zwischen den aufgezählten Komponenten. Sie sind vielmehr agentiell getrennt. Für jede Untersuchung und Messung muss ein Apparat ausgewählt werden, der einen Schnitt platziert,

11 Latour spricht im Zusammenhang mit Pasteurs »Entdeckung« des Milchsäureferments auch von Ereignis: »das Konto, auf das vor dem experimentellen Ereignis zurückgegriffen werden könnte, ist nicht dasselbe wie *nachher*. Gerade deshalb ist ein Experiment ein Ereignis und keine Entdeckung, kein Freilegen, kein Aufzwingen, kein synthetisches Urteil *a priori*, keine Aktualisierung einer Potentialität* und so weiter.« (Latour 2002: 153, H.i.O.)

der dann das Untersuchungsobjekt von der Beobachtungsinstanz ablöst. Aber der »spezifische, konstruierte Schnitt löst die Uneindeutigkeit nur für einen gegebenen Kontext« (Barad 2015a: 26) und somit für ein Phänomen. Barad spricht hier von spezifischen und konstruierten Schnitten, um zu verdeutlichen, dass sie für bestimmte Kontexte und Phänomene stehen. Damit entwirft sie ein Gegenkonzept zum klassischen Verständnis, wonach ein »inhärenter / natürlich vorkommender / starrer / universeller Cartesianischer Schnitt« (ebd.: 25, H.i.O.) nicht existiert. Somit sind auch Dualismen wie Natur/Kultur, Objekt/Subjekt und andere als Ergebnisse spezifischer materiell-diskursiver Intra-aktionen erklärbar. Sie haben dadurch nicht weniger Wirkmacht oder keine materiellen Folgen, doch werden sie mit Hilfe eben jener Perspektive als Effekte dynamischer Unterteilungen denkbar und nicht länger als einzig wahre Einteilungen. Durch die Annahme, es handle sich bei den genannten Dualismen um natürliche und ahistorische Gegensätze, erhalten sie einen normativen Charakter und gelten als richtungsweisend.

Auch den Begriff des Schnitts entlehnt Barad aus Bohrs Darstellungen und bezieht sich auf wissenschaftliche Praxen. Beide gehen nicht davon aus, dass es eine_n unvoreingenommene_n und nicht verschränkte_n Forscher_in geben kann, der_die einfach abliest, was er_sie bei der Untersuchung von Objekten feststellt. Stattdessen werden Beobachtungsobjekt und -instanz immer erst getrennt. Bezugnehmend auf Bohr pointiert Barad: »what is at issue is the cut that makes a distinction between object and instrument« (Barad 2007: 328). Auch Bohr ging davon aus, dass es die je spezifischen experimentellen Anordnungen sind, die Bedeutung verleihen und einen Schnitt zwischen einem Objekt und den Agencies der Beobachtung¹² hinterlassen (vgl. ebd.). Dies ist aber keineswegs Ausschlusskriterium für einen objektiven Standpunkt. Im Gegenteil basiere dieser nicht auf einem cartesianischen Schnitt zwischen Beobachtendem_r und Beobachtetem (vgl. ebd.: 274). Wissenschaft könne objektive Beschreibungen bieten, gerade weil der Apparat einen Schnitt zwischen dem Objekt und den Beobachtungsinstanzen erlässt (vgl. ebd.: 330). Ein Experiment ist reproduzierbar und Kommunikation darüber möglich, weil agentielle Schnitte bestimmte Grenzen ziehen (vgl. ebd.: 340). Einteilungen und Bedeutungen dienen als Orientierung: »angesichts eines bestimmten Satzes konstruierter Schnitte sind bestimmte beschreibende Konzepte der Naturwissenschaften wohldefiniert und können genutzt werden, um reproduzierbare Ergebnisse zu erreichen.« (Barad 2015a: 55)

Barad schreibt, dass es bedeutsam ist, welche Schnitte gesetzt werden und somit verschiedene Schnitte auch verschiedene materielle »becomings« (Barad 2007: 361) hervorrufen. Das Infragestellen bekannter Bedeutungen und Erklärungen kann die Schnitte möglicherweise sichtbar machen und sie so verschieben und

12 Im Original heißt es »agencies of observation« (vgl. Barad 2007). Theodor übersetzt dies mit »Beobachtungsinstanzen« (vgl. Barad 2015a). Ich verwende beide Ausdrücke.

zerschneiden. Barad formuliert die Herausforderung, einen Start in der Analyse zu finden, der nicht voraussetzt, dass die getrennten Entitäten gegeben sind, sondern direkt »the matter of cuts that produce distinctions between ›humans‹ and ›nonhumans‹« (Barad 2012a: 31, H.i.O.) aufdeckt.

Schnitte werden durch Apparate¹³ erlassen und somit wird etwas erkennbar und materiell, anderes ausgeschlossen und nicht realisiert. In *Meeting the Universe Halfway* schreibt Barad: Um die inhärente ontisch-semantische Unbestimmtheit zu lösen, bedarf es eines spezifischen Messapparats, das heißt der Messapparat ist Bedingung für die Möglichkeit, spezifischen Konzepten Bedeutung zu verleihen (vgl. Barad 2007: 127). Die Apparate haben keine festen Formen, sondern werden immer wieder anders arrangiert (vgl. Barad 2001: 107). Wer oder was genau zu jenen Apparaten zählt, ist schwer zu benennen. In *Performing Culture/Performing Nature* (2001) setzt Barad sich mit Ultraschallgeräten auseinander und liefert folgendes Beispiel für einen Apparat:

»For example, piezoelectric transducer materialize (and are iteratively rematerialized) in intra-action with a multitude of practices, including those that involve: medical needs; design constraints (including legal, economic, biomedical, physics and engineering ones); market factors; political issues; other research and design projects using similar materials; [...]« (Barad 2001: 108).

Die Aufzählung geht noch über mehrere Zeilen weiter und so veranschaulicht Barad, was alles zum Apparat gezählt werden kann. Daran wird deutlich, dass Barad nicht bloß Laborinstrumente wie Messapparaturen oder ähnliches meint, sondern zahlreiche Praxen als Apparat begreift: »apparatuses are dynamic (re)configurations of the world, specific agential practices/intra-actions/performances through which specific exclusionary boundaries are enacted. Apparatuses have no inherent ›outside‹ boundary.« (Barad 2003: 816, H.i.O.)

Auch Bohr beschrieb Apparate nicht als passive Beobachtungsinstrumente (vgl. Barad 2007: 199), sondern als physikalische Arrangements (vgl. ebd.: 129) oder makroskopische materielle Anordnungen (vgl. ebd.: 142). Sie verbleiben im Laborkontext, doch sind die Instrumente nicht als passive Beobachter_innen, sondern als Beobachtungen hervorbringend und Teil derselben zu verstehen. Sie definieren bestimmte Begriffe und produzieren schließlich Phänomene (vgl. ebd.). Bei Barad ist jener Aspekt der Untrennbarkeit wiederzufinden. Für sie ist außerdem relevant, dass Bohr nicht von (menschlichen) Beobachter_innen ausgeht, sondern von »agencies of observations« (ebd.: 114). Für Barad wird hiermit »die Untrennbarkeit der materiellen und semiotischen Apparate« (Barad 2015a: 28) verdeutlicht, die sie

13 Barad entlehnt die »Apparate körperlicher Produktion« (Barad 1998: 124) Haraways Konzept der ›situated knowledges‹ (vgl. Haraway 1995d), spricht in späteren Texten aber nur noch von Apparaten (vgl. Barad 2001: 113).

als »nicht-dualistisches Ganzes« (ebd.: 29, H.i.O.) bezeichnet. Nicht nur Beobachter_in und Beobachtetes sind epistemologisch untrennbar, sondern auch die materielle Ebene und die Bedeutungsebene sind verschränkt und erst durch die agentiellen Schnitte für ein spezifisches Phänomen getrennt (erkennbar). Die Komplexität ihres Verständnisses von Apparaten wird deutlich, wenn sie schreibt, dass sie Apparate als spezifische materielle Rekonfigurationen der Welt versteht »that do not merely emerge in time but iteratively reconfigure spacetime matter as part of the ongoing dynamism of becoming.« (Barad 2007: 142)

Es geht nicht darum, Bedeutungen und Materialisierungen abzusprechen, sondern als dynamisch und Effekt agentieller Intra-aktionen anzuerkennen. Inwiefern hier Möglichkeiten zur Verschiebung von Grenzen gegeben sind, ist noch nicht angesprochen. Zentral ist vor allem, eine andere Sichtweise auf das Welt-Werden zu bekommen und zu verstehen, wie und wo welche Schnitte erlassen werden. Es muss nachvollzogen werden, wo Schnitte gesetzt und welche spezifischen Markierungen auf den Körpern dadurch hinterlassen werden.

6.1.5 Körper, Objektivität und Verantwortung

Wie definiert Barad Körper, wenn sie davon spricht, dass Markierungen auf Körpern durch Schnitte erlassen werden und Unterschiede produzieren? Vor dem Hintergrund langer Diskussionen feministischer Theorien und Körpersoziologie darüber, wie Körper zu thematisieren sind, ohne sie weder als leere, biologische Hülle zu verstehen, auf die kulturelle Werte und Normen eingeschrieben werden, noch als essenziell und naturhaft (vgl. Villa 2008: 210), ist Barads Ansatz hilfreich. Denn Barad denkt binäre Aspekte zusammen: »Bodies are not objects with inherent boundaries and properties; they are material-discursive phenomena.« (Barad 2007: 153) Im agentiellen Realismus sind Körper nicht verstanden als feste, physische Hüllen, sondern als all das, was Bedeutung erlangt: Form und Sinn erhaltende Materie. Barad lässt nicht nur die Vorstellung von fleischlichen Körpern mit einer klar umrissenen, abgeschlossenen Anatomie hinter sich. Sie hinterfragt auch die Exklusivität menschlicher Körper, indem sie argumentiert, dass »human bodies, like all other bodies, are not entities with inherent boundaries and properties but phenomena that acquire specific boundaries and properties through the open-ended dynamics of intra-activity.« (ebd.: 172)

Barad veranschaulicht die Temporalität und Dynamik der Körper am Beispiel des Schlangensterne, eines Verwandten des Seesterne, der besondere Fähigkeiten hat:

»A brittlestar can change its coloration in response to the available light in its surroundings. When in danger of being captured by one predator or another, a brittlestar will break off the endangered body part (hence its name) and regrow it. [...]

its bodily materiality is not a passive, blank surface awaiting the imprint of culture or history to give it meaning or open it to change« (ebd.: 375).

Der Körper des Schlangensterns ist ein anschauliches Beispiel für die Veränderlichkeit von Körpern und nicht nur im Sinne passiver Veränderungen wie (Nach-)Wachsen oder Altern. Im Kontext von Feindabwehr und anderen Überlebensstrategien wird die Möglichkeit zu körperlichen Veränderungen vom Schlangenstern genutzt. So verschiebt sich die Grenze zwischen Selbst/Anderem:

»The ongoing reconfigurings of its bodily boundaries and connectivity are products of iterative causal intra-actions – material-discursive practices – through which the agential cut between ›self‹ and ›other‹ (e.g. ›surrounding environment‹) is differentially enacted (e.g., on one agential cut, a given arm is part of the former; in another it is part of the latter).« (ebd.: 376, H.i.O.)

Der Begriff Körper bezeichnet im agentiellen Realismus aber auch weniger konkrete Leiber. Körper scheint vielmehr für all das zu stehen, was Bedeutung und Grenzen erlangt hat, was markiert und materialisiert ist. So ist zum Beispiel der Körper des ›Messinstruments‹ markiert in seiner Korrelation mit anderen agentiell bestimmten Eigenschaften des ›gemessenen Objekts‹ (vgl. ebd.: 345). Die Diskussion zwischen Bohr und Einstein aufgreifend, hält Barad fest, dass, obwohl es keine trennbaren bestimmten Entitäten mit spezifischen inhärenten Eigenschaften gibt, »nonetheless there are determinate marks on bodies produced through specific intra-actions.« (ebd.: 346) Durch agentielle Schnitte wird es möglich, eindeutige Markierungen auf Körpern anzunehmen, jedoch nur innerhalb eines speziellen Phänomens (vgl. ebd.: 348). Auch wenn die Körpergrenzen und -eigenschaften demnach weder inhärent sind, noch immer gleichbleibend und allgemein gültig, sind sie materiell und relevant. Körper, verstanden als materiell-diskursive Phänomene (vgl. ebd.: 153), sind demnach nicht schon immer so markiert in der Welt, sondern werden gemeinsam mit ihrer Umgebung intra-aktiv konstituiert (vgl. ebd.: 170).

Barads agentieller Realismus ist eine wissenschaftstheoretische Perspektive, die eine materielle und ontologische Ebene einschließt, wie ich zu Beginn dieses Kapitels (6.1) angeführt habe. Sie setzt die Verkörperung diskursiver Praxen zentral und bietet damit ein anderes Verständnis, das dynamischer und nicht anthropozentrisch ist (vgl. ebd.: 334). Dinge bekommen nicht nur erst Bedeutung durch und in bestimmten Diskursen, sondern durch ihre Verkörperung in größeren Apparaten. Für die Physik gesprochen: ein physikalisches Konzept erhält Bedeutung durch die spezifische Materialisierung der experimentellen Anordnung (vgl. ebd.: 329). Durch die Anordnungen im Experiment werden Schnitte erlassen und somit das ›Instrument‹ vom ›Untersuchungsobjekt‹ getrennt. Beide erhalten dabei Grenzen und Eigenschaften. Barad spricht hier auch von verkörperten Konzepten (vgl. ebd.).

Barad fordert mit ihrem agentiellen Realismus ein verkörpertes und kontextuelles Verständnis von Wissen ein und liefert eine verkörperte Erklärung von Objektivität (vgl. Barad 2015a: 60, 54).¹⁴ Wie bereits an anderer Stelle erwähnt, ist durch die Ablehnung der Vorstellung inhärenter, cartesianischer Schnitte sowie der Möglichkeit, eine Perspektive außerhalb einzunehmen, nicht die Unmöglichkeit von Objektivität suggeriert. Barad bezieht sich in ihrer Auseinandersetzung auf einen Streit zwischen Bohr und Einstein, die unterschiedliche Auffassungen über die Bedingungen von Objektivität hatten. Während Einstein fragte, wie Beobachter_innen vom Beobachteten objektiv zu trennen sind, ging Bohr davon aus, dass Objektivität nicht auf der Trennbarkeit zwischen beiden beruhe. Einstein setzte die räumliche Trennung beider voraus, Bohr hingegen einen Schnitt, der die Unterscheidung zwischen Beobachtungsobjekt und Messinstrument durch die experimentelle Anordnung erlässt. Mit Bohr ist die Unterscheidung nicht dauerhaft. Grenzen und Eigenschaften von Entitäten sowie Konzepte sind somit keineswegs immer schon bedeutungsvoll. In diesem Sinne begreife ich auch die Markierungen auf den Körpern, die durch die Schnitte entstehen und somit klar umrissene und wohldefinierte Phänomene hervorbringen (vgl. Barad 2007: 329).

Objektivität ist gegeben, wenn Markierungen von Körpern als durch intra-aktive Schnitte entstehend und die Unterscheidbarkeit von Beobachtungsobjekten und -instanzen ermöglichend verstanden werden. Denn durch die Schnitte und Markierungen wird eine eindeutige und reproduzierbare Messung eines Teils des Phänomens (des Objekts) durch den anderen Teil (»agencies of observations«) ermöglicht (vgl. ebd.: 339). Die *agentielle* – und nicht die inhärente – Trennbarkeit in einer verschränkten Welt ist es, die temporäre Entitäten in spezifischen Kontexten erkennen lässt, dadurch einzelne Objekte oder Agencies beschreibbar macht und Objektivität gewährleistet. Bezugspunkt objektiver Beschreibungen von Phänomenen sind somit die Spuren, die Versuchsbedingungen auf Körpern hinterlassen (vgl. Barad 2015a: 45). Die Spuren auf den Körpern liefern also Orientierung und ermöglichen die Verständigung über sie: »Indeed, this embodiment of concepts as part of apparatus is ultimately what secures the possibility of objective knowledge« (Barad 2007: 143). Objektivität ist hier also keine distanzierte Position, die einnehmbar ist,¹⁵ sondern das, was ermöglicht wird durch agentielle Separier-

14 Objektivität gilt gemeinhin als Fähigkeit und Anspruch, sich unbefangen mit einem Gegenstand auseinanderzusetzen (zur wissenschaftshistorischen Betrachtung des Begriffs vgl. Daston, Galison 2007). Mit Barads Ansatz wird diese Möglichkeit jedoch ausgeschlossen. Barad verabschiedet sich nicht gänzlich vom Begriff der Objektivität, sondern deutet ihn um, wie es andere feministische Wissenschaftsforscher_innen, zum Beispiel Haraway, Sandra Harding oder Helen Longino, auch tun (vgl. Ebeling et al. 2006). In diesen Kontexten geht es auch um einen Anspruch der Verantwortungsübernahme.

15 Haraway bezeichnet die Illusion einer Position von außen als »göttlichen Trick« (vgl. Haraway 1995d: 82). Damit distanziert sie sich von der Vorstellung, Forschende könnten von oben aus

barkeit und durch die in 6.1.3 erwähnte Äußerlichkeit-innerhalb-von-Phänomenen (vgl. ebd.: 351).

Objektivität heißt auch, Verantwortung zu übernehmen, und zwar für die eigenen Verschränkungen. Denn Objektivität ist nur durch agentielle Separierung und Verantwortlichkeit zu sichern, so Barad (vgl. ebd.: 453). Wird von agentieller und nicht von inhärenter Trennbarkeit ausgegangen, impliziert das auch die Verschränkungen von Bedeutungen, Apparaten, Objekten, Forschenden und vielen anderen. »Responsibility entails an ongoing responsiveness to the entanglements of self and other, here and there, now and then.« (ebd.: 394) Unterteilungen nicht als fest und gegeben aufzufassen, sondern als Effekte agentieller Intra-aktionen, heißt nicht, sie weniger ernst zu nehmen oder als unwirklich zu verstehen. Vielmehr ist es eine verantwortliche Perspektive, die materialisierten Phänomene als agentiell realistisch zu begreifen: »Objectivity, then, is about being accountable and responsible to what is real.« (ebd.: 340)

Barad fordert Verantwortungsübernahme für die Markierungen auf den Körpern in ihrer Spezifität und darauf zu achten, wie verschiedene Schnitte Unterschiede hervorrufen, die relevant sind. An dieser Stelle referiert sie auf das in der Quantenphysik viel diskutierte Messproblem und somit auf Situationen, in denen durch bestimmte experimentelle Anordnungen, die Nutzung verschiedener Messapparate und Vorrichtungen und das Treffen von Entscheidungen durch das Handeln der Forschenden verschiedene Bedeutungen produziert werden können. Dabei erinnert Barad an die Verantwortlichkeit gegenüber den Markierungen, an denen man beteiligt ist: »We are accountable for and to not only specific patterns of marks on bodies – that is, the differential patterns of mattering of the world of which we are a part – but also the exclusions that we participate in enacting.« (Barad 2007: 394)

Ausgehend von agentiellen Intra-aktionen und Apparaten, durch die spezifische Phänomene hergestellt werden, ist diesen erstens nachzugehen und nachzuvollziehen, welche Schnitte wie, wann und wo erlassen werden. Zweitens gilt es zu reflektieren, welche anderen Schnitte möglich wären, welche Bedeutungen das generieren würde was dabei auch ausgeschlossen ist. Das Ausgeschlossene gilt als konstitutiv für das, was (an-)erkannt wird und sich als Phänomen konstituiert: »Accountability and responsibility must be thought in terms of what matters and what is excluded from mattering.« (Barad 1998: 118) Wer und was ausgeschlossen wird spielt somit eine Rolle, um zu verdeutlichen, dass durch verschiedene Intra-aktionen spezifische Phänomene produziert werden. Auch für dieses Ausgeschlossene soll aber Verantwortung übernommen werden (vgl. Barad 2007: 57, 58), und gerade hier liegt die Chance, Grenzen zu verschieben und für Anderes aufmerksam

auf die Untersuchungsobjekte schauen und so alles unbeteiligt beobachten, erkennen und beschreiben, und argumentiert für die Partialität, Situiertheit und Positionierung von Wissen.

zu werden. Verantwortlich und aufmerksam zu sein für die Markierungen auf den Körpern, bedeutet, Grenzen und Schnitte nachzuvollziehen, durch die sie erlassen werden.

Verantwortung im wissenschaftlichen Arbeiten und Forschen führt Barad unter der Bezeichnung »agential literacy« (Barad 2000) aus und entwickelt einen Leitfaden an Fähigkeiten, die diese umfasst. Dazu gehört die Fähigkeit, die für bestimmte Praxen relevanten Apparate zu identifizieren und die materiell-diskursive Natur jeden Apparats zu analysieren. Untersucht werden müssen die konstitutive Beziehung intra-agierender Apparate, die intra-aktive Konstitution von »Objekt« und »Subjekt« und die Grenzen, die durch bestimmte Praxen erlassen werden. Diskutiert werden müssen zudem die Möglichkeiten, Apparate zu rekonfigurieren und neue Praxen zu etablieren (vgl. Barad 2000: 237). Objektivität und Verantwortung sind somit verbunden, weil Forschungspraxen und Wissensproduktion zu Materialisierungen von Phänomenen beitragen.

»According to agential realism, reality is sedimented out of the process of making the world intelligible through certain practices and not others. Therefore, we are not only responsible for the knowledge that we seek, but, in part, of what exists.« (Barad 2001: 109)

Verantwortung ist nicht nur etwas, dass Menschen haben. Vielmehr müssen sie zugleich eine besondere Verantwortung übernehmen. Barads kollektiv verschränkte Verantwortung ist ein onto-sozialer Begriff: »Responsibility is not ours alone. And yet our responsibility is greater than it would be if it were ours alone.« (Barad 2007: 394) Auch das ethische Subjekt versteht Barad nicht als abgegrenztes rationales Subjekt, sondern als verkörperte Sensibilität, die auf die Beziehung des ethischen Subjekts zu anderen antwortet (vgl. ebd.: 391). Das menschliche Subjekt ist nicht als abgeschlossene Entität zu begreifen, das lokalisiert Verantwortung übernimmt. Auch hier ist das Zusammenwirken ganz unterschiedlicher Intra-aktionen relevant. In ihrem agentiellen Realismus sind Menschen genauso Phänomene wie Nicht-Menschliches auch. Und trotzdem betont Barad: »The acknowledge of non-human agency does not lessen human accountability; on the contrary, it means that accountability requires that much more attentiveness to existing power asymmetries.« (Barad 1998: 116, 117) Verantwortung im agentiell realistischen Sinne bedeutet, keine menschliche Überhöhung vorzunehmen und dennoch die zerstörerische Kraft von Menschen nicht zu leugnen. Menschliche Verantwortung besteht unter anderem darin, diese Position anzuerkennen. »Learning how to inter-act responsibly as part of the world means understanding that »we« are not the only active beings – though this is never justification for deflecting our responsibility onto others.« (Barad 2007: 391, H.i.O.) Es ist nicht egal, wie die Beteiligten sich verhalten, aber sie verfügen auch niemals allein in einer Situation.

Um das zu begreifen und zu markieren, ist die Schreibweise und wörtliche Übersetzung von ›respons_ability‹ hilfreich, die auch Haraway vornimmt (vgl. Haraway 2012).¹⁶ Denn dies betont die Fähigkeit zu antworten, die nicht nur Menschen zugestanden wird. Antwortfähigkeit nicht allein auf die menschliche Spezies zu begrenzen, sondern auf andere Agencies zu erweitern, führt zu einer anders gelagerten Verantwortung: »recognizing and facing our responsibility to the infinitude of the other, welcoming the stranger whose very existence is the possibility of touching and being touched, who gifts us with both the ability to respond and the longing for justice-to-come.« (Barad 2015b: 164) Dies schließt wieder an den Aspekt der Verschränktheit an und deutet auf Barads kritische Haltung gegenüber anthropozentrischen Modellen. Daraus leitet Barad die Forderung nach einer post-humanistischen Ethik ab (vgl. Barad 2007: 391, 392), die ich noch näher ausführe (s. 6.1.7).

6.1.6 Un/Bestimmtheit und Materie

Ich möchte den Ausführungen zum Begriff des Körpers bei Barad von denen aus ich zur Darstellung ihres Verständnisses von Objektivität und Verantwortung übergegangen bin, eine ausführlichere Erläuterung der Rolle der Materie im agentiellen Realismus anschließen. Barad fragt, »how matter comes to matter« (Barad 2003: 810),¹⁷ und zwar nicht nur rein sprachlich-diskursiv, sondern materiell. Materie entsteht nicht erst durch Diskurs und Sprache. Doch ist zu fragen, wie Materie Bedeutung erhält: »Matter is an imaginative material exploration of non/being, creatively regenerative, an ongoing trans*formation.« (Barad 2015c: 411) Materie bezeichnet hier keine unveränderliche Substanz, sondern Substanz in ihrem intra-aktiven Werden – »not a thing but a doing« (Barad 2007: 336) – die in unbestimmter Form immer schon existiert und intra-aktiv bestimmt wird. Ebenso wenig, wie Diskurs rein sprachlich begriffen wird, ist Materie nur das fleischliche Resultat oder materialisierter und Form erlangter Effekt. Mit ihrem Konzept hinterfragt Barad diese simple Einteilung. Es gibt etwas Materielles, aber nicht in immer schon fester Form und Bedeutung. Im Gegenteil ist es so, dass es etwas gibt und nicht gibt – es ist bestimmt und unbestimmt zugleich. Es existiert eine unendliche Anzahl an Möglichkeiten, doch zugleich ist nicht alles möglich (vgl. Barad 2018: 232):

16 Einige andere feministische Wissenschaftstheoretiker_innen verstehen Verantwortung ebenfalls als ›ability to respond‹, als eine Fähigkeit, die verantwortungsvolle Forschende allen – zum Beispiel am Forschungsprozess Beteiligten – zugestehen müssen, auch wenn nicht alle bekannt sind (vgl. Schrader 2010; Kenney 2019).

17 Der englische Ausdruck ›matter‹ ist sehr passend, da er sowohl Bedeutung als auch Materie meinen kann. In Barads Texten finden sich einige Beispiele, bei denen sie die doppelte Bedeutung von ›matter‹ bewusst einsetzt.

»matter is an enfolding [...]: it can't help touching itself, and in this self-touching it comes into contact with the infinite alterity that it is. Ontological indeterminacy, an unending dynamism of the opening up of possibilities, is at the core of mattering.« (ebd.: 234)

Das Diskursive ist immer schon materiell und Materie immer auch diskursiv aufgeladen. Wichtig ist, weder die eine noch die andere Seite zu privilegieren, da ansonsten die Un/Trennbarkeit vergessen würde, die Phänomene charakterisiert (vgl. Barad 2015a: 47). Mit Barads Perspektive wird es möglich, die Schnitte nachzuvollziehen und das Unterscheiden als materiellen Akt aufzufassen. Essenziell sind jedoch nicht die Trennungen, sondern die Verbindungen (vgl. Barad 2012a: 47), die es sichtbar zu machen gilt und die immer auch materiell sind: »The very nature of materiality is an entanglement. Matter itself is always already open to, or rather entangled with, the ›other‹.« (Barad 2007: 393, H.i.O.)

Bezugnehmend darauf, wie Barad Konzepte und den Prozess des Erkennens und Wissens versteht, wird die Verschränkung und Untrennbarkeit von Materiellem und Diskursivem deutlich: Konzepte, oftmals verstanden als theoretische, gedankliche Elemente, waren auch für Bohr spezifische materielle Anordnungen (vgl. ebd.: 334). Und so ist auch »knowing« eine Praktik, die größere materielle Anordnungen umschließt. Wissen und Erkennen sind materielle Praxen (vgl. ebd.: 342): »Knowing is a direct material engagement, a practice of intra-acting with the world as a part of the world in its dynamic material configuring, its ongoing articulation.« (ebd.: 379) Das heißt, wissenschaftliche Praktiken haben nicht nur materielle Folgen, sondern sind selbst spezifische materielle Auseinandersetzungen und an der (Re-)Konfiguration von Welt beteiligt:

»Making knowledge is not simply about making facts but about making worlds, or rather, it is about making specific wordly configurations – not in the sense of making them up ex nihilo, or out of language, beliefs, or ideas, but in the sense of materially engaging as part of the world in giving it specific material form.« (ebd.: 91)

An diesem Zitat wird erneut die Bedeutung der Un/Trennbarkeit und Verschränktheit deutlich, wie auch die Unmöglichkeit, Wissen und Fakten von materiellem Werden zu trennen. Somit bietet der agentielle Realismus eine andere Lesart von binären Gegensätzen und der üblichen Vorstellung wissenschaftlicher Praxis und passiver Materie: »knowing does not come from standing at a distance and representing but rather from *a direct material engagement with the world*« (ebd.: 49, H.i.O.).

An naturwissenschaftlichen Beispielen verdeutlicht Barad, warum nicht davon auszugehen ist, dass Entitäten und Differenzen feststehend und gegeben sind, sondern es sich vielmehr um Un/Bestimmtheiten handelt, die existieren und zugleich nicht existieren, wobei nicht vorhersehbar ist, wie und wann sie (nicht) exis-

tieren. Damit stellt sie radikal inhärente Strukturen in Frage und betont die Vielzahl an Möglichkeiten, die in jeder Materie enthalten sind – nicht im Sinne wahlloser Gestaltbarkeit, sondern eher als unüberschaubare, unverfügbare Formierungen. Zentral scheint für Barad

»[to bring] indeterminacy's radical potential to the fore. *The indeterminacy of being-time/time-being means that matter/materiality is a matter of material wanderings/wonderings, a virtual exploration of what might yet be/have been, dispersed across spacetime-being and condensed into each material bit-here-now, every morse (each »dressed point«) of spacetime mattering.*« (Barad 2015c: 410, H.i.O.)

Die Un/Fähigkeit, etwas eindeutig zu bestimmen, überträgt sie aus der Quantenphysik in ihr Verständnis der Weltverhältnisse (vgl. ebd.: 419) und bietet somit eine antikategoriale Lesart an. Darin ist auch Materie nicht dem Imaginären gegenübergestellt, sondern Materielles enthält verschiedene imaginäre Wege und Formationen (vgl. ebd.: 388). Die Un/Möglichkeit, Materie auf eine bestimmte Entität festzusetzen, in Relation kausal abzuleiten, für eine bestimmte Zeit und einen spezifischen Ort, ist dabei zentral. Zwar wird durch das Erlassen von Schnitten, durch Apparaturen und in Intra-aktionen (lokal) bestimmt, aber das gilt keineswegs für alle Zeiten und Orte: »Indeterminacy is an un/doing of identity that unsettles the very foundations of non/being.« (Barad 2015c: 401, H.i.O.) Barad zeigt damit die unübersichtliche Verschränktheit auf und, dass es nicht nur darum geht, die Norm der Binaritäten durch Pluralität zu ersetzen, sondern von einer Unbestimmtheit auszugehen: »*matter's ongoing experimenting with itself – the queer dance of being-time indeterminacy, the imaginative play of presence/absence, here/there, now/then, that holds the disparate parts together-apart.*« (ebd.: 407, H.i.O.)

Anhand weiterer naturwissenschaftlicher Untersuchungsfelder, wie zum Beispiel der Entstehung eines Blitzschlags, macht Barad diese Gleichzeitigkeit deutlich und erinnert daran, dass Naturphänomene nicht vorbestimmt und vorhersehbar sind. So verläuft ein Blitz nicht einfach vom Himmel herab zum Boden. Mit Hilfe einer Slow-Motion-Kamera sind Zick-Zack-Bewegungen in verschiedensten Richtungen erkennbar, bevor der Blitz im Boden einschlägt: »*Lightning is born of discontinuous spooky-in-action-a-distance signaling in a decidedly queer communication between earth and sky as they exchange gestures toward the other before they exists, signals of the desiring fields that animates their intra-active becoming.*« (ebd.: 409) Diese Bewegungen, die schließlich zum Blitzzeinschlag führen, sind materielle Dinge und nach dieser Beschreibung keineswegs feststehend und gradlinig.

Auch das Beispiel des Froschembryos, anhand dessen Forscherinnen den Einfluss bioelektrischer Signale im frühen Stadium der Kaulquappenentwicklung untersuchen, verweist auf die Un/Bestimmtheit des Materiellen: Mittels eines überarbeiteten Videofilms konnten die Forscherinnen zeigen, dass sich noch vor der Ent-

wicklung des Gesichts des Embryos für wenige Sekunden etwas in dem Embryo zeigt, das aussieht wie Teile eines Gesichts, und das dann wieder verschwindet. Dazu Barad:

»the flashes of light that point out the face of the tadpole offer tantalizing glimpses of what does not (yet) exist. What we witness are traces of differentiating materializations-to-come, virtual explorations of making face. Internally generated lightning flashes are coursing through the embryonic body exploring different possibilities of what might yet be/have been.« (ebd.)

Um was es Barad in all diesen Beispielen geht, ist das »material play of indeterminacy, the teasing gestures if what might yet be/have been.« (ebd.: 410) Materie enthält mögliche zukünftige Formen und Wege und ist zugleich unbestimmt, wird irgendwann bestimmt, ist darin aber keineswegs immer vorhersagbar.

An dieser Stelle wird zudem das Ausmaß deutlich, das Barad mit dem Begriff der Verschränkung andeutet. Denn Verschränkungen beziehen sich nicht nur auf das, was gerade da ist (zeitlich und räumlich), sondern auch auf das, was war und was (möglicherweise) sein wird und hätte sein können:

»while the past is never finished and the future is not what will unfold, the world holds the memories of its iterative reconfigurings. All reconfigurings [...] are sedimented into the world in its iterative becoming and must be taken into account in an objective (that is, responsible and accountable) analysis.« (Barad 2018: 226, H.i.O.)

Alle Un/Möglichkeiten sollen in einem umfassenden Verständnis von Materie und Agency mitgedacht werden, die in der Konsequenz auch zu einem modifizierten Verantwortungsbegriff führen: »matter is condensations of responses, of response-ability. Each bit of matter is constituted in response-ability; each is constituted as responsible for the other, as being in touch with the other.« (Barad 2015c: 401, 402, H.i.O.)

6.1.7 Agency und posthumanistische Performativität

Mit dem dargestellten Verständnis von Verantwortung ist auch eine besondere Bedeutung von Agency¹⁸ verbunden. Barad versteht Materie nicht als passiv und leere Hülle, die erst durch kulturelle Diskurse produziert wird und Bedeutung erlangt, sondern als Werden. So spricht sie auch von Materie als »congealing of agency« (Barad 2007: 336). Agency wird nicht nur einem (menschlichen) Subjekt zugeschrieben, sondern jeder Materie. Verstanden als diejenige, die zum Werden beiträgt, ist sie zudem keineswegs passiv, sondern ein agierender Part.

18 Ich nutze den englischen Begriff, verwende aber die Großschreibung, da die ursprüngliche Bedeutung durch Übersetzung in Handlungsfähigkeit oder Handlungsmacht zu stark verkürzt wird.

In *Meeting the Universe Halfway* gibt Barad folgende Definition: »Agency is a matter of intra-acting; it is an enactment, not something that someone or something has. Agency cannot be designated as an attribute of subjects or objects« (ebd.: 214). Indem sie schreibt, dass jemand oder etwas Agency ist und nicht hat, wird deutlich, dass Barad Agency im Sinne von Einfluss versteht, ohne damit die Eigenschaft zu bezeichnen, durch die jemand/etwas bewusst und aktiv handeln kann. Agency begreife ich als Beeinflussung aller, die zu verschiedenen Materialisierungen führen, und nicht als absichtsvollen aktiven Handlungsakt, der nur einem selbstbewussten, zurechenbaren (menschlichen) Subjekt zuzuschreiben ist. Es kommt nicht nur auf die bewussten, wahrnehmbaren Handlungen an, die Menschen vollziehen. Es gilt vielmehr, aufmerksam zu sein für alle Agencies und die damit verbundenen Un/Möglichkeiten.

Barad führt ein Beispiel aus dem Kontext neuer Reproduktionstechnologien an: »Gene imprinting is the name that genetics gave assigned to this form of non-human agency.« (Barad 1998: 117) Ohne die genauen Mechanismen zu verstehen, werde hier die aktive Rolle des Imprinting und das damit verbundene An- und Abschalten der Gene anerkannt. Dies weise auf nicht-menschlicher Agency, so Barad, denn schließlich führen die Imprints und die An- und Abschaltungen zu bestimmten Entwicklungen.

Auch Bohr sprach von Agencies (»agencies of observations« (Barad 2007: 115)) und betonte die Relevanz der materiellen Spezifität der experimentellen Anordnungen, die wirkmächtig sei für die Einteilung von Objekt und Beobachtungsinstanzen (vgl. ebd.: 267, 268). Barad wirft Bohr jedoch vor, in einer anthropozentrischen Perspektive zu verbleiben und Agency ausschließlich in den forschenden, menschlichen Subjekten zu verorten, auch wenn er anerkannte, dass die Forschenden Teil dessen sind, was sie untersuchen (vgl. ebd.: 341). Wenn Agency aber kein intendiertes und zielgerichtetes Handeln meint, sondern die Wirkmacht bestätigt, die von allen an Intra-aktionen Beteiligten ausgeht, dann sind die Fokussierung auf den Menschen zu hinterfragen und eine posthumanistische Perspektive und Ethik stark zu machen. Worum es Barad dabei nicht geht, ist

»to include nonhumans as well as humans as actors or agents of change but rather to find ways to think about the nature of causality, agency, relationality, and change without taking these distinctions to be foundational or holding them in place.« (Barad 2012a: 32)

Ihr posthumanistischer Ansatz ist also auch der Versuch, die gleichbedeutende Wirkung und Beeinflussung aller zu betonen. Somit ist auch die gesonderte Position des Menschen in Bezug auf die Wirkmacht und Einflusskraft in Frage zu stellen. Damit geht nicht einher, Menschen ihren Einfluss und damit jegliche Verantwortung abzuspochen. Im Gegenteil argumentiert Barad für eine posthumanistische Ethik und fordert Verantwortungsübernahme gegenüber jeder Grenzziehung.

Im agentiellen Realismus gelingt es, auch die sonst so selbstverständliche Trennung von menschlich/nicht-menschlich zu hinterfragen, ohne die Wirkmacht der Menschen und ihre besondere Verantwortlichkeit zu leugnen. Nachvollziehbar finde ich daher Barads Projekt eines »posthumanist understanding that does not presume the humans to be a special system separate from the natural processes that he or she observes, but rather one that seeks to understand the emergence of the ›human‹ along with all other physical systems.« (Barad 2007: 339, H.i.O.) Barad spricht von einer posthumanistischen Performativität und intendiert dabei nicht die Zurückweisung menschlicher Agency, sondern eine gleichbedeutende Gewichtung aller Arten von Agencies. Das bedeutet auch, dass Wissen nicht durch Repräsentation von Forschungsobjekten und sogenannten ›Wahrheiten‹ produziert wird, sondern performativ. Posthumanistische Performativität ist somit eine Alternative zu humanismuszentriertem Repräsentationalismus.

6.1.8 Kausalitäten und Relationen

Von Verschränkungen und Intra-aktionen auszugehen, betont gerade die (gegenseitigen) Einflussnahmen und Verbindungen von Phänomenen und ermöglicht, sie nicht als in linearen und immer gleichbleibenden kausalen Relationen oder festen Ursache- und Wirkungspositionen zu verstehen. Gleichbedeutend mit den Entitäten sind ›Relata‹ und die Frage, in welchem Verhältnis sie zu anderen stehen. Doch der agentielle Realismus dreht die Perspektive um: »relata only exist within phenomena as a result of specific intra-actions (i.e. there are no independent relata, only relata-within-relations).« (Barad 2007: 465) Es gibt weder die Relata, also einzelne Entitäten, bevor es Relationen gibt, noch sind die Relationen immer gleich und schon gegeben. Doch »what is at issue is the primacy of relations over relata and the intra-active emergence of ›causal‹ and ›effect‹ as enacted by the agential practices that cut things together and apart.« (ebd.: 389, H.i.O.) Barad fokussiert die Relationalität zwischen spezifischen materiellen (Re-)Konfigurationen der Welt, durch die Phänomene samt ihrer Grenzen und Eigenschaften geschaffen werden. Hier spricht sie auch von einer Kausalbeziehung, und zwar zwischen den Apparaten der Produktion von Körpern und den produzierten Phänomenen, und bezeichnet diese als Beziehung der agentiellen Intra-aktion (vgl. ebd.: 139).

Es geht Barad nicht darum, die kausale Relation zu leugnen. Die Kausalbeziehung ist jedoch genauso wenig vorbestimmt und linear, sondern un/bestimmt und dynamisch. Barad spricht daher von einer lokalen Kausalstruktur, die sich verändert, wenn der Apparat modifiziert wird, und somit den agentiellen Schnitt beeinflusst (vgl. ebd.: 175). Im agentiellen Realismus wird Kausalität nicht völlig negiert, aber auch nicht im positivistischen Sinne verstanden:

»Agential realism does not simply pose a different dynamics (substituting one set of laws for another); it introduces an altogether different understanding of dynamics. It is not merely that the form of the causal relations has been changed, but the very notions of causality, as well as agency, space, time, and matter, are all reworked. Indeed, in this account, the very nature of changes in an ongoing fashion as part of the world's intra-active dynamism.« (ebd.: 179)

Wie viele andere Begriffe deutet Barad auch diesen um: Eine agentiell-realistische Sichtweise von Kausalität geht nicht von fixen Beziehungen zwischen isolierten Objekten aus. Ursache und Wirkung gehen vielmehr aus Intra-aktionen hervor (vgl. ebd.: 176) und sind nicht inhärente Eigenschaften feststehender Entitäten. So spricht Barad auch von kausalen Intra-aktionen und macht damit die Gleichzeitigkeit der Verbundenheit und der Beeinflussung deutlich, wie auch die Spezifität und Lokalität. Somit wird im agentiellen Realismus Abstand gewonnen von einem deterministischen Modell, das durch seine inhärenten und gleichbleibenden Kausalbeziehungen unveränderlich und unbeeinflussbar erscheint. Deterministische Ableitungen gelten üblicherweise als auf Tatsachen beruhend, die zum Beispiel im Forschungsprozess abgelesen werden können. Barad leugnet nun nicht die Existenz und Relevanz des Zusammenhangs und Einflusses, sondern betont sie. Gleichzeitig schafft sie es, sich vom klassischen Verständnis zu lösen, denn »*the notion of intra-action constitutes a reworking of the traditional notion of causality*.« (Barad 2007: 140, H.i.O.) Barad spricht auch davon, dass agentielle Schnitte eine kausale Struktur erlassen und diese einen »causal agent« und einen »measuring agent« markiert (Barad 2007: 337). Doch impliziert dies nicht Unveränderlichkeit und Vorbestimmtheit, sondern betont die Dynamik und unzähligen Möglichkeiten. Indem durch die Intra-aktionen erlassene Schnitte die Markierungen von messenden Agencies und zu messenden Objekten passieren, wird in Effekt und Ursache innerhalb eines Phänomens unterteilt. Barad geht von Zusammenhängen aus und setzt bei den Relationen statt bei den Relata an. Prägnant fasst sie zusammen: »Causality is an entangled affair: it is a matter of cutting things together and apart (within and as a part of phenomena)« (ebd.: 394).

6.2 Zu Barads diffraktiver Methodologie

Die Vorstellung des agentiellen Realismus und meine Darstellung zentraler Konzepte Barads haben bereits einige Parallelen zu und Resonanzen mit umweltepigenetischen Begrifflichkeiten hervorgebracht. Der Herausforderung, jenen Berührungspunkten systematisch nachzugehen und eine feministisch-materialistische Analyse umweltepigenetischer Forschungspraxen durchzuführen, will ich ebenfalls mit Barad begegnen. Barad ist also auf zwei Arten relevant: Erstens, wenn ich Um-

weltepigenetik mit dem agentiellen Realismus zusammenbringe und ich Barads Theorie als Schablone dafür nehme, den ambivalenten Gleichzeitigkeiten und Differenzsetzungen in der Umweltepigenetik nachzuforschen. Damit ist eine zweite, methodische Ebene verbunden, für die ich ebenfalls Orientierung bei Barad finde. Ihre diffraktive Methodologie wird meine weiteren Textanalysen strukturieren. Daher wird zunächst ihr diffraktives Lesen vorgestellt.

Charakteristisch für den agentiellen Realismus ist, dass Barad Differenzen anerkennt, sie aber nicht als gegeben voraussetzt und stattdessen versucht, ihr Entstehen nachvollziehbar zu machen. Das gelingt zum Beispiel mit Hilfe der Begriffe der Intra-aktion, der Schnitte und der Apparate. Barad setzt sich dabei vor allem mit quantenphysikalischen, aber auch mit anderen Naturphänomenen auseinander. Ihr Vorgehen bezeichnet sie als diffraktives Lesen, ein Verschränken naturwissenschaftlicher Phänomene, feministischer Theorien, wissenschaftstheoretischer Perspektiven und vielem mehr. Dieses spezifische Durch-einander-hindurch-Lesen und vielfältige Verschränken unterschiedlicher Disziplinen und Theorien beschreibt ihre diffraktive Methode, womit sie an das physikalische Phänomen der Diffraktion anknüpft.

Haraway schlägt eine diffraktive Methodologie vor, eine kritische Praxis, um Unterschiede in der Welt zu machen und um Differenzen zu verstehen (vgl. Haraway 2017 [Orig. 1992]). Diffraktion bezeichnet in der Physik die Art und Weise, wie sich Wellen überlagern, wenn sie sich aufgrund von Hindernissen beugen und ausbreiten. Betrachtet man beispielsweise Ozeanwellen, dann stellt ein Fels im Meer ein Hindernis dar, hinter dem die Wellen interferieren.¹⁹ Das Diffraktionsmuster bezieht sich nicht nur auf Flüssiges, sondern auf jede Art von Wellen (auch Licht und Schall). Es handelt sich hierbei also um ein charakteristisches Merkmal von Wellenverhalten unter bestimmten Bedingungen, welches in der klassischen Physik der Unterscheidung von Wellen und Teilchen dient (vgl. Barad 2007: 81). Teilchen werden beschrieben als materielle Entitäten an einem bestimmten Punkt im Raum zu einem gegebenen Zeitpunkt. Wellen hingegen können sich im gleichen Punkt im Raum überlagern. Die daraus resultierende Wellenform ist größer als die Einzelwelle. Die Kombination der Effekte wird als Superposition bezeichnet. Diffraktionen versteht man in der Physik als Resultat dieser Superpositionen (vgl. ebd.: 80).

Relevant in diesem Zusammenhang ist das Doppelspaltexperiment, das als Gedankenexperiment Grundlage der Kontroverse zwischen Bohr, Heisenberg und Einstein war. Im Experiment gibt es eine Quelle, aus der entweder Teilchen oder Licht strömen und die auf eine Wand mit einer Öffnung in der Mitte treffen. Hinter dieser befindet sich eine zweite Wand mit zwei Durchgängen und weiter

19 Barad verwendet Diffraktion und Interferenz synonym (Barad 2007: 28, 29, 417). Ich verwende ausschließlich den Begriff ›Diffraktion‹.

dahinter eine Wand, auf die schließlich alles trifft. Von Interesse war zunächst vor allem, welches Muster Teilchen oder Licht auf der letzten Wand hinterlassen. Unter speziellen Umständen zeigen beide Diffraktionsmuster auf, die eigentlich nur für Lichtwellen charakteristisch sind. Da davon ausgegangen wird, dass sich ausschließlich Lichtwellen, aber keine Teilchen überlagern können, wird nur bei ersteren von Superpositionen gesprochen. Das gilt als Welle-Teilchen-Dualismus-Paradox (vgl. ebd.: 83). Für Barad ist dieses Phänomen zentral, weil es konventionelle ontologische und epistemologische Grundsätze herausfordert und etwas über das Wesen von Verschränkungen aussagt, wenn es um einander überlagernde Positionen geht:

»So while it is true that diffraction apparatuses measure the effects of difference, even more profoundly they highlight, exhibit, and make evident the entangled structure of the changing and contingent ontology of the world, including the ontology of knowing. In fact, diffraction not only brings the reality of entanglements to light, it is itself an entangled phenomenon.« (ebd.: 73)

Eine andere Art von Wellen bilden Lichtquellen, und so ist Diffraction auch in der Optik von Interesse. Vor allem in der physikalischen Optik spielt das Wesen von Licht eine Rolle. Barad weist darauf hin, dass viele Epistemologien und Methodologien optische Metaphern verwenden und die Idee des Repräsentationalismus sich an der Idee der Reflexion als (kritische) wissenschaftliche Praxis orientiert. Hiermit knüpft Barad wieder explizit an Haraway an. Beiden ist es ein Anliegen, mit Diffraction den Blick auf die Unterschiede zu lenken, die in und durch Wissensproduktion entstehen:

»Building in Haraway's (1997) suggestion of embracing a different optics in Science Studies – diffraction rather than reflection – I proposed that we think through the physics of diffraction in a detailed and rigorous fashion to see if diffraction might serve as a useful methodological apparatus, not to be used analogically, of course, but rather as an altogether different analytical practice. That is, I proposed what I called a *diffraction methodology*« (Barad 2011: 445, H.i.O.).

Reflexion beschreibt, dass etwas widergespiegelt wird und es ist von Interesse, möglichst nah am ›Original‹ zu bleiben. Sowohl Haraway als auch Barad distanzieren sich von dieser Perspektive und gehen nicht davon aus, dass ein kritisches Reflektieren aus der Ferne als gute wissenschaftliche Praxis möglich ist. Sie schlagen eine diffraktive Methodologie als kritische Praxis vor, da es darum geht zu verstehen, welche Differenzen von Bedeutung sind, wie sie sich auswirken und was darüber hinaus sichtbar wird: »The agential realist approach that I offer eschews representationalism and advances a performative understanding of technoscientific and other naturalcultural practices, including different kinds of knowledge-making practices.« (vgl. Barad 2007: 90) Mit Diffraction wird deutlich, dass die Mög-

lichkeit unabhängigen Repräsentierens von Phänomenen nicht gegeben ist, da es sich um intra-aktiv konstituierte, verschränkte Phänomene handelt und Wissen(-spraxen) um komplexe und lebendige Konfigurationen produziert wird (werden).

In der radikalen Hinterfragung von Entitäten und Differenzen verschiebt Barad die Konzentration auf Grenzziehungen und Verschränkungen. Dafür benötigt sie Folgendes: »what I am interested in doing is building diffraction apparatuses in order to study the entangled effects differences make.« (ebd.: 73) Zugleich ist ihr die Schwierigkeit bewusst, einen solchen Apparat zu entwickeln und Verschränkungen verantwortungsvoll zu untersuchen, die sich mit jeder Intra-aktion wieder verändern (vgl. ebd.: 74). Barad spricht hier explizit von einem Apparat, den sie entwickeln will. Damit ist nicht gemeint, einen Apparat einmal entwerfen oder programmieren zu können, der dann seine Aufgabe erfüllt. Wie in 6.1.4 zu lesen war, sind Apparate in Barads Sinne viel mehr, nämlich die »*material conditions of possibility and impossibility of mattering*« (ebd.: 148, H.i.O.).

Konkret benennt Barad, dass sie verschiedene Theorien und Disziplinen dafür durch einander hindurch liest. Hierin liegt das besondere Potenzial, das ich auch für mein diffraktives Lesen nutze:

»unlike methods of reading one text or set of ideas against another where one set serves as a fixed frame of reference, diffraction involves reading insights through one another in ways that help illuminate differences as they emerge: how different differences get made, what gets excluded, and how those exclusions matter.« (ebd.: 30)

Im vierten Kapitel ihrer Monografie (Barad 2007) kündigt Barad an, diese Methode durchzuführen. Wenn sie dort ihr Verständnis von Materie, Diskurs und weiteren Aspekten diskutiert, bedient sie sich explizit an Arbeiten Niels Bohrs, Michel Foucaults und Judith Butlers: »Diffractively reading the insights of poststructuralist theory, science studies, and physics through one another entails thinking the cultural and the natural together in illuminating way.« (Barad 2007: 135) Nun könnte man einwenden, dass jede_r Wissenschaftler_in in ihrem Arbeiten, Denken und Schreiben immer von zahlreichen anderen Personen, Theorien etc. beeinflusst ist und diese in eigenen Projekten miteinander verschmelzen und zahlreiche Einflüsse sich dort einpeisen. Barad hingegen macht es ganz explizit, markiert, von wem sie was einbezieht, und erweitert ihren eigenen Blick disziplinübergreifend. So verstehe ich ihr diffraktives Lesen als Anregung, nicht nur mit gewohnten Begriffen und Verständnissen zu arbeiten, sondern unterschiedliche Disziplinen, Perspektiven und Konzepte heranzuziehen und durch die Kombination und Überlagerung – wie im Falle der Wellen – den eigenen Blick zu öffnen und neue Denkweisen anzuregen. Barad kombiniert Arbeiten von Autor_innen, die für gewöhnlich nicht aufeinandertreffen. Für einen Ansatz, der radikal alle Differenzen hinterfragen und verschieben will, ist es so notwendig, auch Disziplingrenzen aufzuweichen

und sozial- und naturwissenschaftliche Theorien aufzunehmen. Das ist ein weiterer Grund, warum Barad für meine Untersuchung relevant und hilfreich ist, die mit feministischen, sozialwissenschaftlichen und gesellschaftstheoretischen Fragen einem biomedizinischen Feld begegnet. Herausfordernd dabei ist es, keine der Theorien und Disziplinen über die andere zu stellen.

Auch in ihrem Text *Quantum Entanglements and the Hauntological Relations of Inheritance: Dis/continuities, SpaceTime Enfoldings, and Justice-to-Come* (Barad 2010) erprobt Barad augenscheinlich das diffraktive Lesen, indem sie den Text aus unterschiedlichen Abschnitten – Szenen genannt – zusammensetzt und oftmals zunächst angibt, was jeweils alles diffraktiert wird. Dabei versammelt sie unterschiedliche Entdeckungen, Zeiten, Theaterszenen oder Orte und will durch dieses Format ein Gefühl für Intra-aktivität, agentielle Trennbarkeit und Quantenverschränkungen vermitteln (vgl. Barad 2010: 245).²⁰

Ein Durch-einander-hindurch-Lesen von agentiellem Realismus und Umwelt-epigenetik ist fruchtbar und macht Anderes sichtbar als die Analysekategorien und Fragen, die ich in meiner Pilotphase (4. Kapitel) verfolgt habe. Mit dem diffraktiven Lesen kann es gelingen, weniger einseitig nach Differenzen und ihren Auflösungen zu suchen und offener zu schauen, was in umweltepigenetischen Studien vorhanden ist und was sich noch ereignet. Um beides systematisch aufeinander zu beziehen und einen strukturierten Rahmen für die Textanalysen zu entwickeln, werde ich im Folgenden zentrale Anknüpfungspunkte von agentiellem Realismus und Umwelt-epigenetik darstellen, die meine Apparatur bilden und mich im diffraktiven Lesen leiten.

20 Barad arbeitet in diesem Text mit Sichtweisen und Begriffen, die sie bereits zuvor in anderen Texten vorgestellt hat, versucht hier aber, ihr diffraktives Lesen explizit zu machen und durch diese Form ein tieferes Verstehen zu erreichen.

7. Entwicklung eines diffraktiven Apparats

Um Barads agentiellen Realismus und umweltepigenetische Studien diffraktiv durch einander hindurch lesen zu können, wurden beide Bereiche eingehend dargestellt. Das 2. bis 6. Kapitel dienten dabei nicht bloß der Vorstellung der Felder, sondern sind Ausdruck einer Pendelbewegung und eines analytischen Prozesses, der es ermöglicht, meinen diffraktiven Apparat zu operationalisieren. Für den restlichen Teil der Arbeit ist zentral, beides zusammenzuführen, aber nicht in einem inkludierenden Sinne. Vielmehr geht es darum, Punkte zu benennen, an denen agentieller Realismus und Umweltepigenetik resonieren und sich überlagern.¹ Ich werde nun illustrieren, dass es vier Anknüpfungspunkte gibt, die sich aus Barad'schen Begrifflichkeiten speisen und relevante Themen der Umweltepigenetik aufgreifen: Barads Konzepte der ›Un/Bestimmtheit‹, ›Phänomene‹, ›Relationen‹ und ›Verschränkungen‹ bilden meinen diffraktiven Apparat. Inwiefern es sich hierbei um an beides anknüpfende beziehungsweise beides verknüpfende Punkte handelt und sich anhand dieser Begriffe Barads agentieller Realismus und Umweltepigenetik durch einander hindurch lesen lassen, um andere Perspektiven hervorzubringen, werde ich im Folgenden ausführen.² Die Anhaltspunkte, die ich im ersten Teil der Arbeit aus dem Feld der Umweltepigenetik herausgearbeitet habe, fließen genauso in meinen diffraktiven Apparat ein wie zentrale Begriffe und Perspektiven des agentiellen Realismus. Die Tabelle verdeutlicht, wie sich die Ausgangspunkte für die erste empirische Phase (4. Kapitel) nun verschieben:

-
- 1 Eine Anwendungsmöglichkeit diffraktiver Methodologie habe ich in Krall (2020) skizziert und darin drei Punkte diskutiert, die als Vorüberlegungen zu den hier entwickelten vier Anknüpfungspunkten dienten. Dort habe ich noch von einer ›agentiell realistischen Lesart‹ gesprochen. Inzwischen gehe ich davon aus, dass dies nicht der Idee eines gleichberechtigten diffraktiven Lesens verschiedenartiger Theorien entspricht, und es eine andere Herangehensweise benötigt, wie ich im zweiten Teil der vorliegenden Arbeit ausführe.
 - 2 Das diffraktive Lesen ist dabei nicht bloß auf Barads agentiellen Realismus und Umweltepigenetik beschränkt. Ich knüpfe immer wieder auch an Texte und Ideen weiterer Autor_innen an.

Tabelle 2: Befunde Pilotphase und Anknüpfungspunkte für zweite empirische Phase

· das Zusammenspiel von Genen und verschiedenen Umwelteinflüssen · Anpassungs- und Antwortfähigkeiten (»response«) sowie Plastizität · Changieren zwischen Offenheit gegenüber Umwelteinflüssen und (Gen-)Determinismus · Prozesse zwischen Geno- und Phänotyp sowie Epigenetik als Mittlerin oder Überträgerin · die besondere Rolle von Müttern · Fachkontroversen und Wissenslücken	· Un/Bestimmtheiten - o Agencies & »responses« · Phänomene · Relationen - o Mittlerin · Verschränkungen
---	--

Der Begriff »Epigenetik« wird zwar auf die Arbeiten Waddingtons aus den 1940er Jahren zurückgeführt (s. 2. Kapitel), Epigenetik ist gegenwärtig aber vor allem durch umweltepigenetische Forschungsarbeiten geprägt, wie sie seit Mitte der 1990er Jahre durchgeführt werden, und zu einem breiten und heterogenen Feld gewachsen. Dies und auch die Tatsache, dass immer komplexere und detailliertere Fragen aufkommen, könnte erklären, warum in umweltepigenetischen Studien oftmals von der Schwierigkeit gesprochen wird, die exakte Vorgehensweise epigenetischer Mechanismen zu verstehen. Häufig wird darauf verwiesen, dass es hier noch an Wissen und Erkenntnissen fehle, wie es zum Beispiel Gapp et al. formulieren (s. 4.5): »How [environmental factors, L.K.] mediate their influence is poorly understood, but likely involves non-genetic mechanism.« (Gapp et al. 2014: 667)

Dass nicht unbedingt durch mehr Forschung oder bessere Methoden zu klären ist, wie beispielsweise Umweltfaktoren auf epigenetische Mechanismen wirken, trifft einen zentralen Gedanken bei Barad. Dies führt mich zu ihrem Konzept der Un/Bestimmtheit und zum ersten Anknüpfungspunkt. Bezugnehmend auf quantenphysikalische Debatten der 1920er Jahre und Arbeiten Bohrs, führt Barad das Konzept der ontologischen Un/bestimmtheit ein (s. 6. Kapitel). Während Heisenberg aufgrund der Unmöglichkeit, richtig zu messen, von einer Unsicherheit und somit einem epistemologischen Problem ausging, hatte Bohr ein ganz anderes Verständnis: Mit dem Komplementaritätsprinzip ging er vielmehr von einer ontologischen Unbestimmtheit des Messobjekts aus.

»For Bohr, there is no question of a disturbance being at issue, since the corresponding properties are not determinate in the absence of an intra-action with a

specific measuring instrument, and hence there are no preexisting values to disturb. In Bohr's account, this reciprocal limit relation is not to be given an epistemic interpretation but rather to be understood in terms of the limits of semantic and ontic determinacy.« (Barad 2007: 294, 295)

Unbestimmtheit ist demnach nicht darauf zurückzuführen, dass es keine feste Entität gibt, sondern darauf, dass das Untersuchungsobjekt erst durch das Messen und den Forschungsapparat als Phänomen hervorgebracht wird. Diese Vorstellung distanziert sich davon, dass es Entitäten unabhängig von ihrer Erforschung gibt, die durch intensive und genaue Untersuchung oder passende Messinstrumente vollständig charakterisierbar und erklärbar sind, weil sie inhärente Eigenschaften tragen.

Eine solche Perspektive scheint jedoch dahinter zu stehen, wenn Epigenetiker_innen formulieren, dass sie etwas noch nicht genau erklären können: »our discussion is inevitably, somewhat speculative« (Jablonka, Raz 2009: 162). Mit dem, was Barad in Anlehnung an Bohr entwickelt hat und vorschlägt, und mit Astrid Schrader, die sich auf Barad bezieht, passend formuliert, bietet sich der erste Anknüpfungspunkt für das diffraktive Lesen an: »Unlike epistemological uncertainties that refer to ›gaps‹ in or incompleteness of human knowledge and allegedly inhibit environmental decision-makings, this indeterminacy is an ontological notion.« (Schrader 2010: 283, H.i.O.) Die in epigenetischen Studien formulierten Wissenslücken nicht als Schwäche der Forschenden oder Mangel an passenden Untersuchungsinstrumenten zu lesen, sondern als Hinweis für die Un/Bestimmtheit der untersuchten Phänomene, verschiebt den Fokus von einer Objekt-Subjekt-Trennung auf die Verschränktheit oder Untrennbarkeit aller am Forschungsprozess beteiligten Agencies, »die Phänomene charakterisiert« (Barad 2015a: 47).

Dies ernst zu nehmen, bedeutet ein anderes Forschen – eines, das aufmerksam ist für die zahlreichen Agencies, die beteiligt sind. Jenen Aspekt spricht auch Schrader in ihrem Aufsatz zum Mikroorganismus *Pfiesteria piscicida* an:

»Taking seriously that science is a material practice to which not only humans contribute, I propose a notion of responsibility that is attentive to multiple ›histories‹ and ›agencies‹ and underpins objectivity in science rather than interfering with it. [...] I develop a notion of responsibility in scientific practices as a consequence of fundamental indeterminacies in *Pfiesteria's* beings and doings.« (Schrader 2010: 277, H.i.O.)

Was Schrader hier unter anderem interessiert, ist »*Pfiesteria's* ability to respond to their experimental probings, that is, their response-ability.« (ebd., H.i.O.) Sie versteht ›Verantwortung‹ wörtlich als Fähigkeit zu antworten, die klassischerweise nicht allen Beteiligten im Forschungsprozess zugestanden wird.

Barad und Schrader fordern von allen – und so auch von den Forschenden – Verantwortung gegenüber den Schnitten, die auch sie mit erlassen, und den Verschränkungen, dessen Teil sie sind. Wie ich im 6. Kapitel ausgeführt habe, geht es Barad darum, auch verantwortlich für das zu sein, was beim Erlassen von Schnitten und Werden von Welt ausgelassen und ausgeschlossen wird. Es gilt, dafür aufmerksam zu sein, welche anderen Schnitte vorstellbar und auch möglich wären:

»living compassionately requires recognizing and facing our responsibility to the infinitude of the other, welcoming the stranger whose very existence is the possibility of touching and being touched, who gifts us with both the ability to respond and the longing for justice-to-come.« (Barad 2015b: 164)

Ein_e verantwortungsvolle_r Forscher_in ist aufmerksam für die anderen Möglichkeiten und die unsichtbaren Agencies, die beteiligt daran sind, dass ein Phänomen auf diese Weise erscheint. Schrader fragt: »Can we conceive of a less anthropocentric notion of care that is attentive to indeterminacies in its practices?« (Schrader 2015: 668) So verstehe ich es hier als Aufforderung, den Un/Bestimmtheiten zu folgen, aber eben nicht im »üblichen« Sinnesie mit neuen Methoden oder Instrumenten aufklären zu wollen, sondern indem die Fähigkeit zu antworten auch bei anderen Agencies als bei Menschen ernst genommen wird: »The indeterminacy at the heart of being calls out to us to respond.« (Barad 2015b: 164) Damit wird das Aufzeigen von anderen möglichen Erklärungsweisen und Zusammenhängen möglich. Dieser zentrale Ansatz des agentiellen Realismus resoniert mit umweltepigenetischen Studien, die ebenfalls »response« erwähnen. Welche Agencies dadurch und durch andere Bezeichnungen zu Tage treten, wird ebenfalls Bestandteil der Textanalysen unter dem Anknüpfungspunkt »Un/Bestimmtheiten« sein.

Barad postuliert, dass das, was als feststehende Entität erscheint, ein Phänomen ist, das immer wieder durch agentielle Schnitte und Intra-aktionen entsteht und nicht unabhängig oder isoliert existiert: »the primary ontological units are not »things« but phenomena – dynamic topological reconfigurings/entanglements/relationalities/(re)articulations of the world.« (Barad 2007: 141, H.i.O.) Indem sie nicht von fixen Größen ausgeht, sondern davon, dass verschiedene agentielle Schnitte unterschiedliche Phänomene produzieren, betont sie, dass diese »not a thing but a doing« (ebd.: 336) sind. Was eröffnet sich im diffraktiven Lesen, wenn die Forschungsgegenstände nicht mehr als Entitäten mit fixen Grenzen und Eigenschaften verstanden werden, denen man mit den »richtigen Mitteln« auf den Grund gehen kann? Ich werde die umweltepigenetischen Studien daraufhin befragen, welche Phänomene hier als Entitäten konstituiert sind und versuchen, Schnitte aufzuspüren, die diese mit hervorbringen.

Daran anschließend stellt sich die Frage, auf welche Relationen Phänomene hinweisen. Dies führt zum dritten Anknüpfungspunkt. Wenn man nicht von fixen Grenzen und Entitäten ausgeht, dann sind auch die Verhältnisse untereinander

anders zu denken und es ist ihnen eine andere Rolle zuzuschreiben. Barad legt daher eine »relational ontology« zu Grunde:

»This account refuses the representationalist fixation on words and things and the problematic of the nature of their relationship, advocating *instead a relationality between specific material (re)configurings of the world through which boundaries, properties, and meanings are differentially enacted [...] and specific material phenomena*« (ebd.: 139, H.i.O.).

Ohne Verbindungen gäbe es auch keine Relata. Vielmehr entstehen die Relata in den Relationen (vgl. ebd.: 389). Wenn in umweltepigenetischen Experimenten gezeigt wird, wie ein Umweltfaktor auf einen epigenetischen Mechanismus wirkt und dies zu phänotypischen Veränderungen führt, dann geht es dabei darum zu zeigen, wie das eine mit dem anderen zusammenhängt beziehungsweise das eine zum anderen führt. Genau dabei werden sie separiert. Einen relationalen Blick einzunehmen, knüpft insofern an umweltepigenetische Arbeiten an, als dass es in diesen immer auch darum geht, Ursachen und Effekte epigenetischer Modifikationen und das Wechselspiel von Genen und Umwelten zu verstehen. Was erscheint hier als Ursache, was als Wirkung? Welche Verbindungen zeigen sich zwischen diesen mit einem relationalen Blick? Was eröffnet sich im diffraktiven Lesen, wenn ich Barads agentiellen Realismus hinzunehme?

»The point is not merely that there is a web of causal relations that we are implicated in and that there are consequences to our actions. [...] If what is implied by ›consequences‹ is a chain of events that follow one upon the next, the effects of our actions rippling outward from their point of origin well after a given action is to miss the full extent of the interconnectedness of being.« (ebd.: 394, H.i.O.)

Mit dieser Perspektive wird zudem angesprochen, was Barad mit ihrem ethico-onto-epistemologischen Ansatz einfordert: den Blick zu erweitern auf zahlreiche Agencies und nicht einzugrenzen auf eine unilineare und binäre Einteilung von Ursache und Wirkung. Da es in umweltepigenetischen Studien immer auch um solche Fragen geht, zum Beispiel wie sich bestimmte Umweltfaktoren auf die Genaktivität auswirken und wie dies zu phänotypischen Veränderungen führt, ermöglicht auch hier ein diffraktives Lesen komplexere Perspektiven auf Relationen.

Als besonders anknüpfungsfähig für eine Auseinandersetzung mit Relationen in umweltepigenetischen Studien erscheint mir die Bezeichnung epigenetischer Mechanismen und Prozesse als Vermittler, zum Beispiel zwischen Genen/Umwelt oder Körperaußen/Körperinnen. Wie in der Pilotphase (4. Kapitel) deutlich wurde, werden in einigen Studien epigenetische Mechanismen als etwas vermittelnd beschrieben: »sncRNA are potential mediators of gene-environment interactions that can relay signals from the environment to the genome and exert regulatory functions on gene activity.« (Gapp et al. 2014: 667) Verstanden werden Gene und

Umwelt hier als zwei separate Sphären, die über epigenetische Mechanismen in Beziehung treten. Bei Gapp et al. (2014) wurde die Rolle kurzer-nicht kodierender RNA (short non coding) untersucht (s. 4.5). Auch in der Studie von Weaver et al. (2004) wird davon ausgegangen, dass epigenetische Prozesse zwischen Umwelt und Genen stehen (s. 4.4): »We propose that effects on chromatin structure such as those described here serve as an intermediate process that imprints dynamic environmental experiences on the fixed genome, resulting in stable alterations in phenotype.« (Weaver u.a. 2004: 852)

Mit der Position dazwischen beschäftigt sich auch Barad. Ich hatte angeführt, dass Barad Naturwissenschaften als »eine Bewegung zwischen Bedeutungen und Materie, Wort und Welt, Grenzen untersuchend und verschiebend« (Barad 2015a: 55, H.i.O.) versteht (s. 6.3.). Ich schlage vor, auch Umweltepigenetik als positioniert zwischen Natur/Kultur, Genen/Umwelt, determiniert/plastisch zu denken, um andere Perspektivierungen und Anordnungen zu eröffnen. Denn agentieller Realismus »macht andere Bewegungen: Er verschiebt und destabilisiert Grenzen. Hier kommt Wissen aus dem ›Zwischen‹ von Natur-Kultur, Objekt-Subjekt, Materie-Bedeutung.« (ebd.: 60, H.i.O.) Ich werde daher fragen, was beispielsweise die RNA über Relata aussagt, wenn im diffraktiven Lesen eine umweltepigenetische mit einer agentiell realistischen Perspektive überlappt.

Der Fokus auf Relationen, der durch die Beschäftigung mit Epigenetik als vermittelnd eingenommen wird, führt auch zu einem anderen Verständnis und Verhältnis von Raum, Zeit und Materie, die Barad ebenfalls als phänomenal und nicht als feststehende externe Parameter versteht (vgl. Barad 2007: 316). Barad argumentiert:

»the ›past‹ and the ›future‹ are iteratively reworked and enfolded through the iterative practices of spacetime-mattering [...]. Space and time are phenomenal, that is, they are intra-actively produced in the making of phenomena; *neither space nor time exists as a determinate given outside of phenomena*.« (Barad 2012a: 44, H.i.O.)

Den zeitlichen und räumlichen Verhältnissen in der Umweltepigenetik nachzuspüren, bietet sich ebenfalls an, zum Beispiel wenn Umwelteffekte auf mehrere Generationen untersucht werden. Dies führt zum vierten Anknüpfungspunkt, den Verschränkungen. Zahlreiche Untersuchungen widmen sich beispielsweise dem Einfluss von Umweltfaktoren in der pränatalen Phase und somit den Interaktionen zwischen Mutter und Fötus.

Abbas Ali Gaeini et al. (2016)³ untersuchen die Auswirkungen von Ausdauertraining vor der Trächtigkeit auf das Risiko für den weiblichen Nachwuchs (untersucht wurden Mäuse), im späteren Leben an Osteoporose zu erkranken:

»The linkage between the two states (fetal and adult) was termed ›programming‹, and osteoporosis is one of the various well-documented programming chronic diseases. 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.« (Gaeini u.a. 2016: 3634, H.i.O.)

Können im diffraktiven Lesen dort, wo kausale Zusammenhänge thematisiert sind, Verschränkungen sichtbar werden? Im obenstehenden Zitat findet nicht nur ein Überlappen von mütterlichem und fötalem Status statt, sondern auch ein raumzeitliches, wenn es darum geht, den Einfluss des Trainings auf den erwachsenen Nachwuchs zu ermitteln, der in dem Moment des Trainings nicht mal gezeugt ist und somit noch nicht existiert. Ähnlich formuliert es auch Rebecca Yoshizawa in ihren Arbeiten über Plazentaforschung:

»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.« (Yoshizawa 2016: 93)

Mit Hilfe eines diffraktiven Lesens werde ich die raumzeitlichen Verschränkungen in umweltepigenetischen Arbeiten herausarbeiten, denn:

»The very nature of materiality is an entanglement. Matter itself is always already open to, or rather entangled with, the ›other‹. [...] Not only subjects but also objects are permeated through and through with their entangled kin; the other is not just in one's skin, but in one's bones, in one's belly, in one's heart, in one's nucleus, in one's past and future.« (Barad 2007: 392, 393, H.i.O.)

Alle vier Anknüpfungspunkte hängen zusammen, dienen in ihrer Aufteilung aber einem systematischen Vorgehen beim diffraktiven Lesen. Meine These ist, dass sich durch das Durch-einander-hindurch-Lesen umweltepigenetischer Studien und von Barads agentiellem Realismus Verschiebungen zeigen. Und so werde ich fragen: Was passiert, wenn die formulierten Wissenslücken in der Epigenetik

3 In Krall (2020) habe ich bereits vermutet, dass sich in der Studie von Gaeini et al. (2016) verschiedenartige Verschränkungen zeigen, dies aber dort nicht weiter untersucht. Für eine detaillierte Textanalyse werde ich die Studie ausführlich in 8.2 vorstellen und diffraktiv mit Barads agentiellem Realismus lesen.

nicht auf die Unfähigkeit der Forschenden oder epistemologische Unschärfen zurückgeführt, sondern die Phänomene in ihrer Un/Bestimmtheit begriffen werden? Welche Phänomene offenbaren sich in den Studien und welche Schnitte werden erlassen? Darüber hinaus werde ich fragen, welche Relationen sich zeigen, und dabei vor allem Konzeptionen von Epigenetik als Mittlerin nachgehen. Schließlich werde ich die Studien daraufhin lesen, welche materiellen und zeitlichen Verschränkungen sich zeigen.

8. Diffraktives Lesen umweltepigenetischer Studien mit Barads agentiellm Realismus. Zweite empirische Phase

Nun geht es darum, meinen diffraktiven Apparat mit den vier empirisch und theoretisch hergeleiteten Anknüpfungspunkten Un/Bestimmtheiten, Phänomenen, Relationen und Verschränkungen anzuwenden. Zu Beginn der Analysen steht zunächst eine Zusammenfassung jeder Studie, in der ich zentrale Inhalte wiedergebe, bevor ich die vier Konzepte Barads diffraktiv mit der jeweiligen Studie lese. Zuerst möchte ich aber ausführen, welche Studien ich auf Grundlage des ersten Teils der Arbeit ausgewählt habe.

8.1 Zur Auswahl der Studien

Für die vorangegangene Pilotphase (4. Kapitel) habe ich Studien aus dem Feld der Umweltepigenetik aufgenommen, die häufig in Texten über Epigenetik zitiert werden und in Diskussionen prominent vertreten sind. Eine engere Auswahl durch inhaltliche Kriterien habe ich in der Pilotphase nicht vorgenommen. Systematischer fällt die Auswahl der Studien für die zweite empirische Phase aus. Dazu orientiere ich mich vor allem an einem zentralen Aspekt, der sich in den Analysen der Pilotphase als besonders interessant für diese Untersuchung erwies: die Rolle der Mittlerin und die Funktion des Vermittelns oder Übertragens epigenetischer Mechanismen. Die Bezeichnung epigenetischer Prozesse oder Marker als Vermittler – häufig wird ›mediator‹, ›transmitter/transmitted‹ oder ›interfere‹ geschrieben – verfolge ich weiter, da sie produktive Auseinandersetzungen mit Differenzen und Relationen versprechen. In drei der vier Studien der Pilotphase sprachen die Forschenden von einem vermittelnden Effekt (4.3, 4.4, 4.5). In zwei Studien betraf dies Mechanismen, die mit der RNA in Zusammenhang stehen (4.3, 4.5). Die Rolle der RNA in der Genexpression wird in der epigenetischen Forschung stark diskutiert (vgl. Jablonka, Raz 2009; Gluckman et al. 2011: 15): »Gene silencing by small RNA is being extensively studied today, but the story is definitely not complete.«

(Rassoulzagedan 2011: 230) Die vermittelnden Begriffe und die RNA bilden somit zentrale Suchkriterien in der Auswahl drei weiterer Studien.

Umweltepigenetik ist ein sehr heterogener und in unterschiedlichen disziplinären Feldern angesiedelter Forschungsbereich und es gibt unzählige Fachzeitschriften, in denen Untersuchungsergebnisse veröffentlicht werden. In einigen der Fachzeitschriften, die ich in Literaturverweisen mir bereits vorliegender Studien fand, habe ich eine Schlagwortsuche vorgenommen und die Veröffentlichungen online nach den folgenden Schlüsselbegriffen durchsucht: »epigenetics«, »environment« und »RNA«. Als Artikeltyp habe ich dabei Studien (meist unter der Rubrik »research article«, »research« oder »article«) von anderen Texten (aus Rubriken wie »news« oder »review«) unterschieden. Auch nach diesen Einschränkungen ergab die Suche eine Fülle an Texten allein aus den letzten Jahren. Wurde die Suche nach »epigenetic, environment, RNA« um einen der vermittelnden Begriffe »mediator«, »transmitter/transmitted« und »interfere« ergänzt, ergab dies weniger Treffer beziehungsweise in manchen Zeitschriften keine Treffer mehr. Mit der Fokussierung auf diese Schlagworte habe ich einen Weg gefunden, eine Vorauswahl an Studien für meine Analysen zu treffen. Um zu prüfen, ob ich dadurch Journale übersehen habe, die ebenfalls Studien mit den gesuchten Begriffen enthalten, habe ich zusätzlich eine Recherche mit den Suchwörtern in einer Internetsuchmaschine durchgeführt. Diese ergab vor allem den Verweis auf in Fachzeitschriften veröffentlichte Studien, (populär-)wissenschaftliche Portale und Forschungsverbände sowie -einrichtungen.

Nach der Schlagwortsuche habe ich durch ein erstes Lesen einiger Studien geprüft, inwiefern sie meine Kriterien erfüllen, sich in der Umweltepigenetik verorten lassen und RNA untersuchen oder nur kurz erwähnen, wenn sie beispielsweise auf andere Studien hinweisen. Zudem habe ich mich vergewissert, in welchem Zusammenhang einer der vermittelnden Begriffe erwähnt wird. So wurden solche Studien aussortiert, die die zentralen Schlagworte nur einmal erwähnen, sodass davon auszugehen war, dass diesen nicht viel Aufmerksamkeit geschenkt wird. Durch jene Einschränkung konnte ich viele Studien ausschließen. Ich habe schließlich die folgenden drei Studien ausgewählt:

(1) Abbas Ali Gaeini et al. haben 2016 ihre Studie »Preconception endurance training influences female offspring bone« im *Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine* veröffentlicht. Das iranische Forschungsteam untersuchte den Einfluss mütterlicher Fitness auf die Entwicklung von Knochen und das Risiko, an Osteoporose zu erkranken, beim weiblichen Nachwuchs von Mäusen. Im Fokus der Studie stehen unterschiedlich intensive Trainingseinheiten einiger Mäuse, die sich auf die ungeborenen beziehungsweise auf die noch gar nicht gezeugten Mäusenachfahrenden auswirken und deren RNA-Expressionen postnatal verändern.

(2) Virginie Marty et al. veröffentlichten 2016 ihre Studie »Deletion of the miR-379/miR-410 gene cluster at the imprinted *Dlk1-Dio3* locus enhances anxiety-rela-

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, *Cordyloderes 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 ruft 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 Mäusermüttern. 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 Nachkommen 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.

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

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

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

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

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

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

»Abstract«

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

»Introduction«

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

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

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

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

»Results«

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

»Discussion«

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

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

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

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

»Material and Methods«

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

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

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

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

8.3.1 Un/Bestimmtheiten

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

Wissenslücken

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

Changieren

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

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

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

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

»task-dependent«

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

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

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

»inherent difficulty«

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

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

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

Nichts, Löschung und Tod

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

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

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

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

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

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

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

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

Agencies & ›respons_abilities‹

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

»emotional responses«

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

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

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

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

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

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

»stress response«

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

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

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

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

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

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

»freezing response«

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

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

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

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

»miRNAs regulate«

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

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

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

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

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

»Responses« im Kontext von Plastizität

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

8.3.2 Phänomene

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

Versuchsbedingungen und zeitliche Schnitte

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

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

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

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

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

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

Mäuse und miRNAs

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Apparate

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

8.3.3 Relationen

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

»mediate«

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

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

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

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

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

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

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

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

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

RNA als Mittlerin?

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

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

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

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

8.3.4 Verschränkungen

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

Raumzeitliche Verschränkungen

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

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

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

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

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

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

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

Transgenerationale Verschränkung

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Speziesübergreifende Verschränkungen

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

»Abstract«

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

»Introduction«

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

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

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

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

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

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

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

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

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

»Results«

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

»Discussion«

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

»Conclusion«

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

»Materials and Methods«

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

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

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

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

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

8.4.1 Verschränkungen

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

Naturkulturelle Verschränkungen

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

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

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

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

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

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

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

8.4.2 Phänomene

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

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

Pseudoskorpione

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

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

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

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

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

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

RNAs

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

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

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

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

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

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

8.4.3 Relationen

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

Vermittelnde Begriffe

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

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

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

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

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

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

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

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

RNA als Mittlerin

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Barad schreibt: »The ongoing reconfigurings of its bodily boundaries and connectivity are products of iterative causal intra-actions – material-discursive practices – through which the agential cut between ›self‹ and ›other‹ (e.g., ›surrounding environment‹) is differentially enacted« (Barad 2007: 376, H.i.O.). Was Barad auf den Schlangenstein³⁶ bezieht, fand ich auch in der Studie: So sind die Umwelten, hier zum Beispiel verschiedene Küstenabschnitte in Panama, das Labor in den USA oder die Außentemperatur, an der (Re-)Konfiguration verschiedener Pseudoskorpione beteiligt. Und die diversen Relationen, die in der Studie sichtbar werden, ermöglichen es zu hinterfragen, ob das Verhältnis von und die Grenzen zwischen selbst und anderen immer schon klar und getrennt sind. Denn die Haplogruppen, RNAs, ihre Expression und die Pseudoskorpione werden einzeln benannt und untersucht. Somit scheint es sich um separate Phänomene zu handeln. Und doch artikulieren sie sich als un/trennbar. Schließlich macht die Studie sie ebenfalls als Relationen sichtbar.

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

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

8.4.4 Un/Bestimmtheiten

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

Wissenslücken und Erkenntnisfortschritt

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

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

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

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

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

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

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

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

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

›Responsibilities‹

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

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

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

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

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

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

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

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

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

8.5 Vergleich der Studien anhand des diffraktiven Apparats. Zusammenfassende Ergebnissicherung

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

ter Texte gekennzeichnet. Das wird in dieser Arbeit gewährleistet, indem feministische Theorien und Epigenetik nicht gegenübergestellt, sondern überlagert werden. Ziel meines diffraktiven Lesens war es, neue Anordnungen und Perspektiven zu finden, die in umweltepigenetischen Untersuchungen bereits angelegt sind. Im folgenden Vergleich der Studien werde ich die zentralen Befunde des Kapitels zusammenführen und nachanalysieren, was sich durch den diffraktiven Apparat eröffnet. Dazu diskutiere ich vergleichend die vier Anknüpfungspunkte. Zur Übersicht steht zunächst eine Tabelle, die zentrale Perspektiven der Studien abbildet, die sich je Anknüpfungspunkt im diffraktiven Lesen eröffneten.

Tabelle 3: Befunde des diffraktiven Lesens

	Gaeini et al. (2016)	Marty et al. (2016)	Su-Keene et al. (2018)
U N / B E S T I M M T H E I T E N	<i>Wissenslücken & Unsicherheiten</i>	<i>Wissenslücken</i>	<i>Wissenslücken & Erkenntnisfortschritt</i>
	Pendelbewegung zwischen Wissenslücken, Unsicherheiten und Begrenzung der Studie sowie Relevanz der Studie	<i>Changieren</i> zeigt sich im Betonen von Relevanz der Studie und Wissenslücken sowie bei »task-dependent« und »inherent difficulty« <i>Nichts, Löschung und Tod</i> Auch »nichts« zeigt etwas; Löschung ist materielle Praxis, die Spuren hinterlässt	Fortschritts Glaube deutlich, aber auch Wissenslücken und Spitze des Eisbergs sowie Komplexität des Untersuchungsgegenstands erwähnt → Schwanken zwischen bestimmt und unbestimmt
	<i>Agencies & »respons_abilities«</i>	<i>Agencies & »respons_abilities«</i>	<i>»Respons_abilities«</i>
	<i>Verantwortung (der Mütter)</i> Menschen und Mäuse kaum mehr unterschieden → Mäuse als Agencies »stress response« Stress in spezifischer Ursache-Wirkungs-Kette erwähnt, aber auch als »ability to respond« der Mäuse bzw. des Stresses denkbar »osteogenic response« Knochen haben Fähigkeit, auf Umweltbedingungen vor ihrer Existenz zu antworten »adaptability« Agencies ebenfalls sichtbar: Anpassung von Mutter, Föten & Plazenten	»emotional response« Agency von Emotionen sichtbar »stress response« Unklar welche Rolle Stress, CORT-Level und Phänotyp haben; zudem verschiedene Zeiten (bzw. Generationen) involviert → Agency der Phänotypen sichtbar »freezing response« Genotyp hat Fähigkeit, mit Angst zu antworten »miRNAs regulate« miRNAs haben Fähigkeit zu regulieren → Agency <i>Plastizität</i> Un/Bestimmtheit & »responses« knüpfen an Plastizität an	»adaptive evolutionary response« und »epigenetic response« → Unklar ist, wer antwortet: Mitochondrien, Pseudoskorpione oder Epigenetik? Anpassung oder Evolution? Zahlreiche Elemente im Antworten involviert

P H Ä N O M E N E		<i>Versuchsbedingungen und zeitliche Schnitte</i>	
		An Verhaltenstests werden Laborbedingungen deutlich und wer/was alles an Schnitten beteiligt ist: Käfigausstattung, Licht, Zeit	
	<i>Mäuse</i>	<i>Mäuse & miRNAs</i>	<i>Pseudoskorpione</i>
	TE-, TC-, CE- und CC- Mäuse als zentrale Phänomene der Studie, die auch durch Käfigausstattungen, Apparate, zeitliche Einteilungen und Lichtphasen, Laufräder und Sensoren konstituiert werden	Tests hinterlassen Spuren auf Körpern; daran sind auch Skalen, Messwerte, zeitliche Schnitte beteiligt; Δ MAT-, Δ PAT- und WT-Mäuse sowie die miRNAs sind zentrale Phänomene der Studie	Natürliche und experimentelle Pseudoskorpione verschiedener Generationen durch zeitliche und räumliche Schnitte materialisiert; viele Phänomene beteiligt: (Proto-)Nymphen, mitochondriale Haplogruppen, Temperatur
	<i>»Female offspring bone«</i>	<i>Apparate</i>	
	Diese werden dem weiblichen Nachwuchs entnommen, um RNA zu extrahieren	Apparate beziehen sich auf Versuchsanordnungen wie Käfigausstattungen und Tests, bringen Mäuse mit hervor und sind zugleich selbst Phänomene	
	<i>RNA</i>		<i>RNAs</i>
	Verschiedene Apparate und Mittel zur Isolierung und Reinigung, die alle Teil des Phänomens RNA sind		Hoden(-gewebe) und verschiedene RNAs werden durch Versuchsbedingungen konstituiert; Forschung hier als grenzziehende Praxis deutlich; Spuren auf Körpern v.a. im Sezieren und Extrahieren der Hoden und RNA deutlich

R E L A T I O N E N	»transmitted«	»mediate«	Vermittelnde Begriffe
	Mütter Überträgerin und Umwelteinfluss → korrespondiert mit Barads Ausführungen zu körperlichen Überträgerfunktionen → Funktion und Position der Körper sind nicht fest und eindeutig und somit auch keine Kausalitäten im positivistischen Sinne denkbar	»mediate« wird in Kombination mit unterschiedlichen Begrifflichkeiten angeführt und damit werden verschiedene Phänomene in Zusammenhang gesetzt → eröffnet anderes Kausalitätsverständnis, v.a. bei Nennung »stress-mediated«	1. »transmitted«: Eltern geben Umwelterbe an nächste Generation(en) → Relationalität zwischen Räumen und Zeiten, die eigentlich als weit entfernt voneinander gelten 2. »mediated«: epigenetische Markierungen vermitteln, nehmen Position dazwischen ein und stellen Verbindungen zwischen weit Entferntem her
	<i>RNA als Mitterlin</i>	<i>RNA als Mittlerin?</i>	<i>RNA als Netzwerk</i>
	RNA(-Expression) als Marker und Messwert, aber auch Mittlerin: vermittelt zwischen Generationen und Individuen sowie äußeren Einflüssen und innerkörperlichen Prozessen, die eigentlich weit entfernt voneinander scheinen → RNA hat Vermittlerfunktion und verbindet → anderes Raum-Zeit-Verhältnis deutlich: Vergangenes liegt nicht abgeschlossen vor Zukünftigem → lineares Zeitverständnis brüchig und Relationalität deutlich	»mediate« immer in Kombination von RNA erwähnt, doch konkreter Zusammenhang bleibt unklar; ob RNA hier als Mittlerin fungiert ist ungewiss	Auch hier RNA in Zusammenhang mit »mediate« erwähnt; aber hier wird RNA nicht als Mittlerin im linearen Verständnis hervorgebracht »networks« und »interactions« machen Relationalität ebenfalls deutlich → Kausalität als verschränktes Geschehen deutlich: Zusammen-und-Auseinander-Schneiden; Untersuchung der Pseudoskorpione als kausale Praktik verstehbar, durch die Grenzen und Eigenschaften von Phänomenen rekonfiguriert werden

V E R S C H Ä N K U N G E N	<i>Mütter, Föten und Plazenten</i>	<i>Transgenerationale Verschränkungen</i>	<i>Naturkulturelle Verschränkungen</i>
	Nicht klar erkennbar, wo Mutter anfängt und wo Plazenta oder Fötus beginnen	Untersuchte transgenerationale Zusammenhänge lösen Grenzen zwischen Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft auf sowie zwischen Generationen; Vergangenheit spukt in den Nachfahr_innen, zum Teil als Löschung oder Leerstelle	1. Bei Differenzierung und Gleichsetzung von Pseudoskorpionen und 2. von verschiedenen Temperaturen 3. bei Betrachtung der Effekte simulierter Klimaerwärmung und natürlicher Variation mitochondrialer DNA
	<i>Raumzeitliche Verschränkungen</i>	<i>Raumzeitliche Verschränkungen</i>	
	Verschiedene Zeiträume von Interesse: vor, während und nach der Trächtigkeit; vor allem im Einfluss des Zustands vor der Geburt auf die Nachkommeninnen raumzeitliche Verschränkungen deutlich → nicht-lineare und nicht-chronologische Verläufe	Im Genomic Imprinting verschiedene Bedeutungen von Zeit enthalten; verschiedene zeitliche und räumliche Beschreibungen präsent → somit werden Verschränkungen als »spacetime matters« sichtbar	
	<i>Speziesübergreifende Verschränkungen</i>	<i>Speziesübergreifende Verschränkungen</i>	
	Mäuse und Menschen, unterschieden, aber auch gleichgesetzt → Grenzen zwischen den Spezies verschieben sich immer wieder → Zusammen- und Auseinander-Schneiden	Naturkulturelle Verschränkungen von Mäusen und Menschen auf mehreren Ebenen → inhärente Verschiedenheit der beiden Spezies und menschlicher Exzeptionalismus brüchig	

8.5.1 Un/Bestimmtheiten

In ihrem Text über *Pfiesteria piscicida* argumentiert Schrader dafür, die in naturwissenschaftlicher Forschung formulierten Wissenslücken mit Barads Konzept der onto-epistemologischen Un/Bestimmtheit zu verstehen: »I argue for a move from epistemological uncertainties to ontological indeterminacies that follow from *Pfiesterias's* contributions to agency« (Schrader 2010: 275). In allen drei Studien werden Wissenslücken und Unsicherheiten, Begrenzungen und Herausforderungen benannt. Marty et al. (2016) weisen beispielsweise auf die Abhängigkeit ihrer Ergebnisse von Untersuchungssetting und Tests hin und benennen die Komplexität und inhärente Schwierigkeit, die ihre Untersuchungsgegenstände charakterisieren. Su-Keene et al. (2018) räumen ebenfalls Wissenslücken und Einschränkungen ein, formulieren, dass ihr Untersuchungsgegenstand sehr komplex sei und bisherige Erkenntnisse nur die Spitze des Eisbergs darstellen würden (vgl. Su-Keene et al. 2018: 5, 9). Gaeini et al. (2016) und Marty et al. (2016) erwähnen aber auch die Relevanz und Neuheit ihrer Ergebnisse. So habe ich bei den Studien ein Changieren zwischen Wissenslücken und der Bedeutsamkeit der jeweiligen Untersuchungen gefunden, in dem sich das Wechselspiel zwischen bestimmt und unbestimmt ausdrückt. Darin kann sich ein positivistisches Verständnis von wissenschaftlichem Fortschritt artikulieren und zugleich die Unmöglichkeit, jemals alles zu erfahren. An jenen Stellen wird es daher möglich, das Beschriebene diffraktiv anders anzuordnen: Die Bedingungen, die vermeintlich Ursache dafür sind, die Zusammenhänge (noch) nicht vollständig durchdringen zu können, habe ich als Hinweis dafür gelesen, dass ein umfassendes und endgültiges Bestimmen gar nicht möglich ist. Es wird immer wieder bestimmt und bleibt zugleich unbestimmt. Ich habe argumentiert, die Verweise von Su-Keene et al. (2018) auf die Komplexität und die Spitze des Eisbergs als Hinweise auf onto-epistemologische Un/Bestimmtheiten zu interpretieren. Die Studie hält also auch eine Lesart bereit, nach der das Bestimmen und Beantworten ihrer Forschungsfragen nicht bloß erschwert, sondern durch das immense Nicht-Wissen (epistemologisch) und die Komplexität des Feldes, das sie erforschen (ontologisch), verunmöglicht sind. Im diffraktiven Lesen dieser Textstellen artikulieren sich die Verschränkungen von Onto- und Epistemologie.

Dass auch Bestimmtheit und Unbestimmtheit verschränkt sind, drückt sich in der (Schreib-)Bewegung der Forschenden aus: Sie formulieren, was sie wissen und was sie nicht wissen, denn sie beschreiben Erkenntnisse und schränken diese zugleich ein, wenn sie die großen Wissenslücken benennen. Jenes Pendeln oder Changieren ist allen drei Studien gemein und der zentrale Befund meines diffraktiven Lesens in Bezug auf Wissenslücken. Durch die Pendelbewegungen zwischen bestimmt und unbestimmt, durch das Aufrechterhalten positivistischer Wissenschaftsvorstellungen und ihr gleichzeitiges Einreißen, verschiebt sich die Per-

spektive von methodischen Schwächen und epistemologischen Unsicherheiten auf onto-epistemologische Un/Bestimmtheiten. Alle Forschenden scheinen von gängigen Ansichten über wissenschaftlichen Fortschritt auszugehen und überschreiben diese zugleich an anderen Stellen ihrer Studien, wenn sie beispielsweise immense Komplexitäten einräumen. Damit wird das Loslösen von einem Wissenschaftsverständnis möglich, das von der inhärenten Differenz der Forschungssubjekte und -objekte sowie feststehenden Entitäten ausgeht. In meinem diffraktiven Lesen habe ich die Wissenslücken in den umweltepigenetischen Forschungen somit als durch onto-epistemologische Un/Bestimmtheiten konstituiert beschreiben können.

Eine Besonderheit der Studie von Marty et al. (2016) ist, dass das Nichts, Löschungen und Tod zentrale Komponenten der Untersuchung sind, die ebenfalls ein anderes Anordnen ermöglichen. Dass bestimmte Daten etwas *nicht* zeigen und einige Mäuse nach der Löschung spezifischer Gencluster sterben, habe ich als relevante Elemente der Studie gewertet und nicht als nur additives Hindernis in der Beschäftigung mit dem Untersuchungsgegenstand. Jene Bezeichnungen, durch die etwas nicht (mehr) Vorhandenes benannt wird (vgl. Marty et al. 2016: 733), begreife ich als Hinweis auf das Wechselspiel von bestimmt und unbestimmt. Vermeintlich nicht relevant, entfaltet sich das Nichts als im Erkenntnisprozess und im Werden von Welt gleichbedeutend mit den Aspekten, die von den Autor_innen als vorhanden klassifiziert werden. Daher argumentiere ich, dass zu den Daten, die laut der Forschenden etwas zeigen, auch diejenigen gehören, die nichts zeigen (»not shown«). Zudem ist die Löschung weiterhin mit dem Gencluster verschränkt und der Tod nicht ohne Leben zu denken. Die Grenze zwischen tot und lebendig wird so als un/bestimmt begreifbar. In diesen Un/Trennbarkeiten artikuliert sich, wie agentuell Schnitte erlassen werden und zu Differenzen führen.

Onto-epistemologische Un/Bestimmtheiten zeigen sich auch da, wo die Forschungspraxen der Autor_innen erkennbar sind und ich auf die Suche nach anderen als nur menschlichen Agencies gegangen bin. Vor allem dort, wo »responses« Erwähnung finden, artikulieren sich verschiedene Agencies. Gaeini et al. (2016) und Marty et al. (2016) formulieren eine »stress response«. Zudem entfaltet sich die Antwortfähigkeit von Knochen, Emotionen, Phäno- und Genotypen. Wer fähig ist zu antworten, war bei Su-Keene et al. (2018) weniger einfach zu erkennen. Hier wurde eher die Verschränkung verschiedener Komponenten deutlich, was auf die Agency von Mitochondrien, Klimaerwärmung oder Evolution hindeutet. Die Verwendung des Begriffs »response« macht möglich, auf nicht-menschliche Agencies aufmerksam zu werden, die im Forschungsprozess antworten und diesen ebenso konstituieren wie die Forschenden.³⁷ Meine Suche nach Antwortfähigkeiten veranschau-

37 Am Schluss der Arbeit (9. Kapitel) greife ich diesen Aspekt erneut auf und zeige, dass anhand von »response« neue Geschichten möglich werden.

licht zugleich die Schwierigkeit zu benennen, wer antwortet. Hier kristallisierte sich neben Agencies daher auch eine onto-epistemologische Un/Bestimmtheit heraus. In den ›responses‹ verweisen damit Agencies und Un/Bestimmtheit aufeinander.

Die Suche nach Antwortfähigkeiten und Agencies ist der Versuch, diese wahrzunehmen, und gleichzeitig zeigt sich hier immer wieder die Unbestimmtheit im Sinne einer Un/Verfügbarkeit: Ich selbst changiere im diffraktiven Lesen und Schreiben zwischen einem Benennen von Agencies und der Unmöglichkeit, sie festzumachen. So setzt sich die onto-epistemologische Un/Bestimmtheit in meinem diffraktiven Lesen fort und bringt dabei neue Anordnungen mit hervor. Wichtig dabei ist, nicht nur ihre Un/Bestimmtheit und Verschränktheit mit nicht-menschlichen Agencies anzuerkennen, sondern auch, dass viele/s andere im Forschungsprozess beteiligt gewesen ist, für das/die ich (noch) nicht aufmerksam war. In den drei Studien artikuliert sich die Un/Trennbarkeit der verschiedenen Agencies und es bleibt ungewiss, wer noch alles am Forschungsprozess beteiligt war und von mir nicht erkannt und benannt wurde.

8.5.2 Phänomene

Um herauszuarbeiten, welche Phänomene in der Studie konstituiert werden, habe ich nach Hinweisen auf agentielle Schnitte in der Beschreibung der Versuchsbedingungen gesucht. Zu veranschaulichen, dass die Phänomene keine präexistierenden Entitäten sind, sondern Resultat der Laborbedingungen und -praxen, konfliktiert mit der Vorstellung, Untersuchungsobjekte stünden als festliegende Entitäten zur Verfügung und könnten beforscht und bestimmt werden. »According to agential realism, knowing, thinking, measuring, theorizing, and observing are material practices of intra-acting within and as part of the world.« (Barad 2007: 90) Die Spuren jener Praktiken des Erkennens, Denkens, Messens usw. aufzuzeigen, ermöglicht es, die Anordnungen der Forschungsprozesse als intra-aktiv zu verstehen. Alle drei Studien enthalten Betrachtungsweisen, nach denen Mäuse und Pseudoskorpione nicht bloß als unterschiedlich bezeichnete Labortiere identifiziert werden können, sondern als durch Käfige, zeitliche und räumliche Schnitte, Lichtphasen, Laufräder, Skalen oder Temperatur konfigurierte Phänomene. Damit kommt nicht nur zum Ausdruck, »that knowledge practices have material consequences but that *practices of knowing are specific material engagements that participate in (re)configuring the world.*« (ebd.: 91, H.i.O.)

Dass daran nicht nur Forschende beteiligt sind, ist wichtig, um eine alternative Perspektive zum menschlichen Exzeptionalismus zu bieten. Die Versuchsbedingungen und Schnitte, die verschiedene Phänomene mit hervorbringen, habe ich vor allem in den Kapiteln der Studien gefunden, in denen die Methoden und/oder das Material beschrieben werden. Insbesondere bei Marty et al. (2016) zeigte sich

das dort, wo die Forschenden Verhaltenstests mit den Labormäusen durchführten. In den beschriebenen Bedingungen und Testabläufen sowie den erwähnten Apparaten drücken sich Spuren aus, die auf Körpern hinterlassen werden, wie Barad es formuliert (vgl. Barad 2015a: 45). So konnte ich zeigen, wie verschiedene Mäuse hervorgebracht werden und die Apparate zugleich selbst Phänomene sind. Versuchsanordnungen wie Käfigausstattungen und diverse Testverfahren sind Teil des Apparats, der sich je nach Test wieder verändert.

Bei Marty et al. (2016) bringt nicht allein die Löschung mütterlicher oder väterlicher Gencluster das Phänomen Δ MAT-, Δ PAT- und WT-Mäuse mit hervor, sondern in den unterschiedlichen Tests werden die verschiedenen Mäuse immer wieder rekonfiguriert. In der Beschreibung der Tests waren Spuren auf den Körpern deutlich abzulesen: Mäuse wurden an ihren Schwänzen fixiert, in ein Wasserbecken gesetzt und dabei beobachtet, wie sie in unterschiedlichen Käfigen fraßen oder anderen Mäusen begegneten. In keiner der anderen Studien wird der Umgang mit den Labortieren so explizit dargestellt beziehungsweise sind hier andere Vorgehensweisen für die Forschenden relevant. Bei Gaeini et al. (2016) wurden einige Müttermäuse trainiert, die epigenetischen Veränderungen aber erst bei den Töchtern untersucht. Bei Su-Keene et al. (2018) wurden die Pseudoskorpione unterschiedlichen Außentemperaturen ausgesetzt und die toten Tiere auf epigenetische Folgen untersucht. In allen drei Studien konnte ich Versuchsbedingungen und Schnitte identifizieren, anhand derer deutlich wird, dass die Phänomene intra-aktiv hervorgebracht werden. Da Marty et al. (2016) aber mehrere Verhaltens-tests durchführten, lieferte diese Studie mir besonders viel Material, um Spuren auf Körpern ausfindig zu machen. Dies liegt vermutlich daran, dass hier ausführlicher als bei den anderen Studien Praxen beschrieben wurden, und ich deshalb den Eindruck hatte, damit etwas aus dem Forschungsprozess zu erfahren. Während es bei allen Studien leichtfiel, einige Phänomene zu benennen, war es anspruchsvoller nachzuzeichnen, wie diese konstituiert werden. Vor allem die Hinweise der Autor_innen auf Abläufe und Vorgehensweisen im Labor halfen mir dabei, diese als grenzziehende Praktiken zu begreifen.

Da die vorliegende Arbeit auf Textanalysen basiert und nicht etwa auf einer Laborstudie, war sie immer auf die publizierten Studien begrenzt. In Kapitel 4.1 habe ich mit Knorr-Cetina zentrale Merkmale naturwissenschaftlicher Studien vorgestellt. Knorr-Cetina weist darauf hin, dass von der ersten bis zur letzten Fassung jener Artikel vieles verändert, neu zusammengestellt und auch gelöscht wird (vgl. Knorr-Cetina 2016: 190). Umfassende Behauptungen werden zum Beispiel durch weniger anspruchsvolle ausgetauscht und im Konjunktiv geschrieben (vgl. ebd.: 191, 192). Die publizierten Texte sind also Resultat von Untersuchungs- und Schreibprozessen und können diese Prozesse nicht umfassend abbilden. Mit dem diffraktiven Lesen wird es aber möglich, auch von den Studien auf agentielle Schnitte und grenzziehende Praxen zu schließen. In den Darstellungen der Forschenden

von Versuchsbedingungen, Abläufen und Apparaten entfalten sich zahlreiche Phänomene in ihrem Werden und als intra-aktiv hervorgebracht. Barad schreibt:

»any particular apparatus is always in the process of intra-acting with other apparatuses, and the enfolding of (relatively) stabilized phenomena (which may be traded across laboratories, cultures, or geopolitical spaces only to find themselves differently materializing) into subsequent iterations of particular practices constitutes important shifts in the particular apparatus in question and therefore in the nature of the intra-actions that result in the production of new phenomena, and so on.« (Barad 2007: 170, 171)

Durch die Beschreibungen der Studien von Versuchsbedingungen und Apparaten verschieben sich die Anordnungen in den umweltepigenetischen Studien auch unter dem zweiten Anknüpfungspunkt: Werden die involvierten Elemente als Phänomene im Sinne Barads verstanden, deren Eigenschaften und Grenzen immer wieder intra-aktiv konfiguriert werden, ist nicht von unabhängigen Entitäten auszugehen, deren Verhältnis und Zusammenspiel durch umweltepigenetische Forschung (im konventionellen Sinne) erforscht werden kann. Mit dem diffraktiven Lesen wird vielmehr möglich, die Studien als Beispiele für nicht-menschliche Prozesse und Intra-aktionen zu lesen. Damit verbunden ist eine Relationalität, die ich als dritten Anknüpfungspunkt untersucht habe.

8.5.3 Relationen

Neben den Versuchstieren konnte ich in allen drei Studien RNAs als weitere Phänomene herausarbeiten, die ebenfalls intra-aktiv hervorgebracht werden. Das ist wenig überraschend, war »RNA« doch schließlich einer der Suchbegriffe bei der Studienausswahl für das diffraktive Lesen (s. 8.1). In der Pilotphase (4. Kapitel) zeigte sich, dass die RNA oftmals in ihrer Eigenschaft als Mittlerin verstanden wird. Das ist auch in der Studie von Gaeini et al. (2016) der Fall. Da dort RNAs als Mittlerinnen zwischen Generationen sowie zwischen äußeren Einflüssen und innerkörperlichen Prozessen beschrieben werden, konnte ich die Relationalität dieser Phänomene sichtbar machen. Auf dieser Grundlage habe ich eine andere Anordnung in der Studie ausfindig machen können, durch die auch Elemente, die eigentlich als getrennt und räumlich wie zeitlich weit voneinander entfernt gelten, als un/trennbar begreifbar werden. Denn in der Vermittlerinfunktion der RNA artikuliert sich, was Barad »spacetime matters« nennt: Der Einfluss mütterlicher Fitness auf die Knochengesundheit der Töchter konnte die raumzeitliche und materielle Relationalität verdeutlichen und ein lineares Zeitverständnis in Frage stellen.

Für die Studie von Marty et al. (2016) bleibt hingegen unklar, ob die RNA als Mittlerin fungiert. RNA wird hier immer in Zusammenhang mit einem vermittelnden Begriff (»mediate«) genannt und so habe ich vermutet, dass RNA auch in

dieser Studie als vermittelnd gilt. Diese Charakterisierung in der Studie bleibt aber diffus. Im Vergleich zu Gaeini et al. (2016) fällt auf, dass die Position, die RNA in einer Untersuchung innehat, etwas darüber aussagt, ob die Bezeichnung als Mittlerin passend ist und ob sie über Relationen Auskunft gibt. Da bei Gaeini et al. (2016) der Einfluss der mütterlichen Fitness auf die RNA-Expression in Knochen der Töchter untersucht und von dort auf ihr zukünftiges Osteoporose-Risiko geschlossen wird, steht die RNA in der Mitte bei der Weitergabe epigenetischer Modifikationen. Marty et al. (2016) hingegen fokussieren auf die Funktion spezifischer RNA-Gencluster und löschen diese deshalb bei einigen Tieren. Es geht also nicht darum, welche Umweltfaktoren zunächst auf die RNA-Gencluster wirken und von diesen weitergegeben werden, da die Forschenden sie ja entfernen. Somit steht die RNA hier weniger in der Mitte zwischen Umwelteffekt und Auswirkung, denn sie wird am Anfang des Untersuchungsprozesses entfernt.

Auch bei Su-Keene et al. (2018) war nicht einfach zu sagen, welchen Part RNAs in der Untersuchung einnehmen. Da nicht nur unterschiedliche RNAs, sondern diese auch in immer anderen Zusammenhängen erwähnt werden, nehmen sie unterschiedliche Positionen zwischen Umwelteinfluss (Temperatur) und Folge epigenetischer Veränderungen (Spermareduktion) ein. In den diversen Nennungen konfigurieren sich RNAs und andere Phänomene immer wieder anders, aber oftmals in Zwischenpositionen. Ihre dynamischen Mittlerinnenrollen stören ein lineares Verständnis von Kausalität. Denn die RNAs vermitteln nicht bloß zwischen Umweltfaktoren und ihren Folgen, sondern sind in unterschiedlichen Positionen zu finden. Durch diese Anordnungen in der Studie war es mir möglich, die Relationen herauszuarbeiten und auf das Zusammen-und-Auseinander-Schneiden zu verweisen, das sich im diffraktiven Lesen dieses Anknüpfungspunktes mit Barads Verständnis von Kausalität ausdrückt. Die RNAs entfalten sich bei Su-Keene et al. (2018) nicht als Mittlerinnen in einer unidirektionalen Kausalkette, sondern als dynamisch und weise auf Relationen im Sinne von Netzwerken hin. Über die Figurationen des Netzwerks eröffnen die RNAs die Option, Kausalität jenseits linearer Ursache-Wirkungsketten zu positionieren.

Neben ›RNA‹ war ein weiteres Suchkriterium für Studien (s. 8.1) ein vermittelnder Begriff. In jeder der drei Studien ist entweder ›transmitted‹ oder ›mediate‹ genannt, bei Su-Keene et al. (2018) beides. Wie zu erwarten war, fanden sich darüber Hinweise auf unterschiedliche Relationen. Diese Begriffe werden eingesetzt, um den Zusammenhang verschiedener Elemente der Untersuchung zu beschreiben. Sie öffnen damit zudem die Möglichkeit einer anderen Erzählung. Bei Gaeini et al. (2016) und bei Marty et al. (2016) entfalten sich an den betroffenen Textstellen Relationen, die nicht der positivistischen Vorstellung von Kausalität entsprechen. In der Studie von Gaeini et al. (2016) sind die Mäusemütter sowohl Überträgerin von Umwelteinflüssen als auch selbst Umwelteinfluss. Das habe ich mit Barads Ausführungen zu körperlichen Überträgerfunktionen (vgl. Barad 2001: 98) durch

einander hindurch gelesen. Es entstand die folgende Lesart: Weder Funktion noch Position von Körpern sind feststehend und eindeutig. So können sie nicht mehr in eindimensionale Kausalzusammenhänge und als Entitäten mit fixen Relata eingeordnet werden. Vielmehr werden die Mäusemütter, RNAs und andere Phänomene in ihrer Relationalität wahrnehmbar.

Relationalität artikuliert sich auch bei Marty et al. (2016), die mit ›mediate‹ verschiedene Phänomene in Zusammenhang setzen. Die hier untersuchten miRNAs wurden im diffraktiven Lesen als immer schon verschränkt und in ihrer Relationalität mit Regulation oder Expression verstehbar. Vor allem bei der Bezeichnung »stress-mediated« wird deutlich, dass auch in der zweiten Studie ein Verständnis von Kausalität angelegt ist, das mit Barads resoniert. Positivistische Vorstellungen von Erkenntnisprozessen können somit überwunden und Wissensproduktion als diskursiv-materieller Prozess beschrieben werden, durch den Phänomene in ihrer Relationalität rekonfiguriert werden.

Eine solche agentiell realistische Anordnung wird bei Su-Keene et al. (2018) deutlich, weil Bestandteile der Untersuchung, die als weit entfernt voneinander gelten, als Relationen hervortreten. Die Bezeichnung ›transmitted‹ beschreibt demnach nicht bloß, dass Eltern ein Umwelterbe an die nächste(n) Generation(en) weitergeben, sondern zeigt auch die Relationalität zwischen verschiedenen Räumen (Umwelten) und Zeiten (Generationen). Während Su-Keene et al. in einem klassischen Versuchsaufbau den Zusammenhang verschiedener Küstenabschnitte in Panama, Laboren, Jahren, Generationen, Eiern und Spermien untersuchen und all jene dabei als getrennte Entitäten beschreiben, eröffnete sich im diffraktiven Lesen eine andere Anordnung: Eine scheinbar klar geordnete Struktur wird brüchig, da die aufgezählten Phänomene nicht mehr als räumlich und zeitlich weit entfernt charakterisiert werden können. Stattdessen machen die Pseudoskorpione komplexe Relationen deutlich, sodass in der Untersuchung schließlich keines der genannten Elemente mehr separat zu denken ist. In den Labortieren läuft gewissermaßen zusammen, was weit entfernt scheint: In US-amerikanischen Laboren gezüchtet, waren sie niemals in Panama, doch ist das Phänomen Pseudoskorpion eben in genau dieser Relationalität zu verstehen. So sind es die in natürlichen Habitaten verschiedener Küstenregionen Panamas lebenden Tiere gewesen, deren Lebensbedingungen unter Klimaerwärmung die Forschenden interessierten und die gesammelt wurden, um daraus weitere Generationen zu züchten. Anstatt die Labortiere bloß als Produkt konventioneller Züchtung zu verstehen, habe ich für eine andere Lesart argumentiert, nach der die Pseudoskorpione als ›space-timematterings‹ begreifbar und durch die Grenzen zwischen Natur und Kultur, natürlichen Habitaten und Laboren, wilden Tieren und Labortieren ad absurdum geführt werden, denn die eine Seite löst sich nicht zur Gänze in der anderen auf. Latour arbeitet ebenfalls die Verbindungen heraus, die sich in Feldforschungen zeigen. Er beschäftigt sich mit der Frage, welchen Status das natürliche Habitat

von Forschungsobjekten und die Transformationen im Forschungsprozess jenseits der natürlichen Umgebung haben. So fragt Latour:

»Sind wir fern vom Urwald, oder sind wir ihm nahe? Wir sind ihm nahe, denn er steckt in der Sammlung. Der ganze Wald? Nein. Weder die Ameisen sind da noch die Krebsspinnen, die Bäume nicht, der Boden, die Regenwürmer, die heulenden Affen, deren Kreischen kilometerweit in der Runde zu hören ist. In die Sammlung kamen nur einige Spezimen oder Repräsentanten, welche die Botaniker interessierten. Also sind wir weit weg vom Urwald? Sagen wir, daß wir irgendwo dazwischen sind.« (Latour 2002: 49)

Auch Latour kommt zu dem Schluss, dass dieses (naturkulturelle) Verhältnis durch eine Zwischenposition gekennzeichnet ist.

8.5.4 Verschränkungen

Die damit auch angesprochenen naturkulturellen Verschränkungen stellen eine Besonderheit bei Su-Keene et al. (2018) dar, weshalb ich das diffraktive Lesen der letzten Studie mit diesem Anknüpfungspunkt begonnen habe. Obwohl die dort untersuchten Pseudoskorpione von den Forschenden als *experimentell* und der Umwelteinfluss von Klimaerwärmung als *simuliert* bezeichnet werden, sind sie nicht einfach einer Sphäre zuzuschreiben, die trennbar wäre von einer natürlichen. Durch die genannten Bezeichnungen findet eine Differenzsetzung zwischen natürlich und künstlich statt, die sich auch auflöst in der Studie: Labortiere und -bedingungen artikulieren sich nicht bloß als künstlich erzeugt, sondern ebenso in ihrer Verschränktheit mit den Pseudoskorpionen, die in Panama leben und den Folgen von Klimaerwärmung ausgesetzt sind. Denn diese Tiere rahmen die Untersuchung der Forschenden, stehen am Beginn der Laborzüchtungen und dienen als Vorbild für den Versuchsaufbau. Was Knorr-Cetina als gängiges Vorgehen experimenteller Studien in Naturwissenschaften und als Rekonfiguration von Labortieren beschreibt (vgl. Knorr-Cetina 2002: 57), sehe ich zudem als Hinweis auf andere Anordnungen. Damit können Differenzen nicht als selbstverständlich verstanden und fortgeschrieben, sondern als Verschränkungen begriffen werden. Das Potential der ebenfalls in den Studien angelegten Lesart liegt darin, Körper und Umwelten statt als feste Entitäten mit klar voneinander getrennten Grenzen als fluide und dynamisch zu verstehen und so mit gängigen Einteilungen von Raum, Zeit und Materie zu brechen.

Auf die Un/Trennbarkeit menschlicher und nicht-menschlicher Wesen, die ebenfalls naturkulturelle Verschränkungen hervorbringt, macht zudem meine Lesart von Marty et al. (2016) mit ihren Labortieren aufmerksam. In 8.3.4 hatte ich Haraway in Bezug auf die OncoMaus zitiert, wo sie über die Labormäuse schreibt: »these sister mammals are both us and not-us« (Haraway 1997: 82). Das artikuliert

sich auch bei Marty et al. (2016). Mal unterscheiden sie Menschen und Tiere, mal setzen sie beide gleich. Die naturkulturellen Verschränkungen präsentieren sich hier vor allem darin, dass die Grenzen zwischen Menschen und Mäusen gezogen und immer wieder überschritten werden. Das zeigte sich insbesondere in der Beschreibung sozialen, ängstlichen und depressiven Verhaltens. Während die Autor_innen der Studie die genaue Bezeichnung eines Genclusters, das in beiden Spezies vorkommt, unterschiedlich nennen, – »the miR-379/miR-410 gene cluster (also known as C14MC in humans)« (Marty et al. 2016: 729) – nutzen sie für die Verhaltensweisen dieselben Namen (»sociality«, »anxiety«, »depression«). Mit der Verwendung solcher Begriffe bei Mäusen, die spezifische Verhaltensweisen bei Menschen beschreiben und Eigenschaften voraussetzen, die üblicherweise nur Menschen zugeschrieben werden, überschreiben Marty et al. die Grenzziehung zwischen beiden Spezies. Durch die Erforschung jener Verhaltensweisen bei Mäusen wird es möglich, diese nicht bloß als Forschungsobjekte zu betrachten. Da Marty et al. menschliche Maßstäbe an die Mäuse anlegen, wenn sie ihr Verhalten als sozial oder depressiv charakterisieren, löst sich eine strikte Trennung zwischen Menschen und Tieren in der Studie auf. Damit wird auch das klassische Forschungsparadigma instabil, nach dem in Forschungssubjekte und -objekte zu unterteilen ist. Denn in der Übertragung menschlicher Muster auf die Mäuse ist die Auflösung der Unterteilung von Menschen und Tieren und somit auch von Subjekt und Objekt angelegt. Somit eröffnet die Studie von Marty et al. (2016) auch eine andere Forschungsanordnung.

Ähnliche Bewegungen zeigen sich bei Gaeini et al. (2016). Sie beziehen sich sowohl auf Studien, die Mäuse untersuchten, als auch auf Untersuchungen mit menschlichen Proband_innen. Da beide Spezies erwähnt werden, unterscheiden Gaeini et al. diese und verwerfen die Unterscheidungen, wenn sie Studien beider Arten als Teil des Forschungsstandes anführen. Erneut wurde daher Barads Ausdruck des Zusammen-und-Auseinander-Schneidens relevant, der auf die Bewegung des Gleichsetzens/Differenzierens und auf daraus resultierende Verschränkungen hinweist. Wie durch das Aufmerksam-Werden für andere als menschliche Agencies und Antwortfähigkeiten (s. 8.5.1) ermöglichen die Studien auch aufgrund dieser naturkulturellen Verschränkungen, die exklusive Position und die Dominanz menschlicher Perspektiven zu stören. Menschen und Tiere als verschränkt zu begreifen, nimmt Abstand von einer Hierarchisierung der Lebewesen und der Vorstellung, Agencies seien immer nur menschlich.

Bei Gaeini et al. (2016) zeigt sich die speziesübergreifende Verschränkung eindrucksvoll im Begriff »mother«. Da sie sich mal auf Menschen, mal auf Mäuse beziehen, verliert sich im Lesen der Studie zum Teil der Bezugspunkt, wenn von Müttern gesprochen wird. Die Figur der Mutter, die in der Epigenetik eine prominente Rolle einnimmt und der dadurch häufig Verantwortung für Wohlergehen und Gesundheit der nächsten Generation(en) zugeschrieben wird (s. 3. Kapitel), ermöglicht nun

eine andere Erzählung, wie ich zum Schluss (9. Kapitel) ausführen werde. Auch bei Gaeini et al. (2016) ist die Verschränkung von Müttern, Föten und Plazenten sichtbar. Mütter werden nicht bloß in ihrer Relationalität beschreibbar, sondern auch als Verschränkung und in ihrer Un/Trennbarkeit. Man könnte einwenden, dass diese Anordnung die Mütter sehr stark mit Reproduktions- und Gebärfähigkeit in Verbindung bringt, doch ermöglicht diese Beobachtung bei Gaeini et al. (2016) auch, die Mütter nicht als separate Entitäten zu denken, sondern als verschränkt mit den Nachkomm_innen. Hier hatte ich besonders die Funktion der Plazenta diskutiert, die als temporäres Organ sowohl zur Mutter als auch zum Embryo gehört. Yoshizawa (2016) bezeichnet die Plazenta daher als Intra-aktion. Bei Gaeini et al. (2016) ist eine Anordnung angelegt, die ebenfalls die Verschränktheit und Intra-aktivität von Plazenten unterstreicht.

Bei Marty et al. (2016) zeigen sich über die Plazenta vor allem raumzeitliche Verschränkungen und »spacetime matters«. Ich habe herausgearbeitet, dass in dieser Studie verschiedene Aussagen über Räume, Zeiten und Materie gemacht werden, die als dynamisch und verschränkt miteinander und nicht bloß als feststehende Größen konzeptualisiert sind. Das artikuliert sich zum Beispiel im Genomic Imprinting, dem epigenetischen Vererbungsmechanismus, für den Marty et al. sich interessieren. Über diesen führen sie unterschiedliche Zeitfenster und Räume zusammen, die als relevant für transgenerationale Effekte gelten. Hierbei kamen »spacetime matters« und die Intra-aktivität von Zeit, Raum und Materie zum Vorschein.

Ähnliches steckt in der Studie von Gaeini et al. (2016). Auch Gaeini et al. (2016) unterscheiden verschiedene Zeiträume für ihre Untersuchung. Indem sie auch die Zeit vor der Trächtigkeit als relevant für die Knochengesundheit der Nachkommen bezeichnen, bewirken sie einen Perspektivwechsel, der raumzeitliche Verschränkungen deutlich macht: Nicht nur wie die trächtigen Mäuse trainierten, sondern bei einigen Mäusen auch, wie sie sich *vor* der Befruchtung verhielten, beeinflusst die Töchter. Auf sie hat also etwas Einfluss, was gar nicht mehr da war, als sie gezeugt wurden. Verschiedene Zeiten und Räume verschmelzen in genau diesen Betrachtungen, die zu den weitverbreiteten Fragen im Feld passen, inwiefern epigenetische Modifikationen gespeichert und vererbt werden. Bei Gaeini et al. (2016) deutet sich etwas an, was ich bisher nur für die Studie von Marty et al. (2016) angeführt habe: Die Mütter schreiben sich in die Knochen der Töchter ein.

Bei Marty et al. (2016) eröffnet sich zudem die Möglichkeit einer anderen Anordnung mit dem, was nicht mehr da ist. Das weist zum einen auf Verschränkungen mehrerer Generationen hin: Die Untersuchung transgenerationaler Zusammenhänge habe ich so weitererzählt, dass der Fokus auf die Auflösung der Grenzen zwischen Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft sowie zwischen mehreren Generationen verschoben wird. Da zur Erforschung der Funktion eines Genclusters dieses gelöscht und dann geschaut wurde, welche Veränderungen sich bei den

Nachkomm_innen zeigen, ist auch hier etwas im Zentrum, was nicht (mehr) da ist. Das Bedeutsammachen des Nichts oder der Löschung eröffnete also nicht nur den Blick auf Un/Bestimmtheiten, sondern auch auf Verschränkungen.

Es lässt sich festhalten, dass durch das diffraktive Lesen der drei Studien mit Barads agentiellem Realismus und weiteren Texten aus (feministischer) Wissenschafts- und Geschlechterforschung andere Anordnungen in der Umweltepigenetik aufgedeckt werden können. Entlang der vier Anknüpfungspunkte zeigten sich Un/Bestimmtheiten, nicht-menschliche Agencies und ›respons_abilities‹, intra-aktiv konstituierte Phänomene, Relationen und verschiedenartige Verschränkungen. Auf dieser Grundlage, die durch die eingehende Beschäftigung mit Umweltepigenetik und agentiellem Realismus sowie durch ein kleinschrittiges Durch-einander-hindurch-Lesen geschaffen wurde, wird es möglich, andere als hegemoniale Geschichten von Interaktionen, inhärenten Differenzen und fürsorgenden Müttern zu erzählen. Die neuen Anordnungen und Verschiebungen, die im Vergleich der drei Studien noch einmal zusammengefasst und analysiert wurden, bieten mir nun die Gegebenheit, andere Geschichten weiterzuerzählen. Welche Bedeutung es hat, andere Anordnungen aus dem Feld herauszuarbeiten und ein Verfahren für ein diffraktives Lesen zu entwickeln und anzuwenden, wird somit anhand von drei Figurationen im folgenden Abschlusskapitel explizit.

9. Epigenetik als Intra-aktion. Neue Anordnungen und Figurationen durch diffraktives Lesen von umweltepigenetischen Studien

»Making knowledge is not simply about making facts but about making worlds, or rather, it is about making specific worldly configurations« (Barad 2007: 91)

Nach dieser intensiven Beschäftigung mit Umweltepigenetik und mit Barads Arbeiten, die auf ein gleichberechtigtes Durch-einander-hindurch-Lesen beider abzielte, ist es möglich, andere ›Konfigurationen‹ (vgl. ebd.) aufzuzeigen. Immer wieder habe ich auf Verschiebungen in umweltepigenetischen Studien hingewiesen, die erkennen lassen, dass neben den hegemonialen, binären Anordnungen auch andere vorhanden sind und Un/Bestimmtheiten, Phänomene, Relationen und Verschränkungen offenbaren. Am Schluss dieser Arbeit rekapituliere ich nun, was ich in den vorangegangenen Kapiteln dargestellt und diskutiert habe, und reflektiere mein Vorgehen unter der diffraktiven Methodologie. Vor allem aber setze ich mich damit auseinander, welche Konsequenzen die Verschiebungen in den umweltepigenetischen Studien haben und welche anderen Anordnungen durch mein diffraktives Lesen sichtbar werden. Diese Anordnungen ermöglichen es, anhand von drei Figurationen neue Geschichten zu erzählen. So wird deutlich, was das diffraktive Lesen leisten kann: Es führt mich aus den dichten Textanalysen heraus und bietet Gelegenheit für neuartige Figurationen. Auf Grundlage meines Durch-einander-hindurch-Lesens kann ich Mütter als Verschränkungen (9.1), ›responses‹ als Un/Bestimmtheiten (9.2) und Epigenetik als Intra-aktion (9.3) weitererzählen.

Nach einer theoretischen und interdisziplinären Verortung meines Themas (1. Kapitel) habe ich mich zunächst ausführlich mit dem Feld der Epigenetik beschäftigt (2.-5. Kapitel). Anschließend bin ich auf Barads Theorie und Methodologie (6. und 7. Kapitel) eingegangen, bevor ich beides durch einander hindurch gelesen habe (8. Kapitel). Meine Auseinandersetzung mit Umweltepigenetik im ersten Teil der Arbeit (2.-5. Kapitel) hat bereits veranschaulicht, dass im Feld verschiedenartige Anordnungen vorliegen. Durch die Fokussierung auf Interaktionen von Genen und Umwelten, Körperäußerem und Körperinnerem oder allgemeiner Natur und Kultur sind Differenzsetzungen im umweltepigenetischen Forschungsfeld

sehr präsent. So bestärken sie hegemoniale Vorstellungen wie zum Beispiel binäre Logiken und heteronormative Einteilungen. Das analysieren und problematisieren Arbeiten aus Geschlechter- und feministischer Wissenschaftsforschung (3. Kapitel). Zugleich zeigen sich durch die Öffnungen des Feldes gegenüber Umwelten auch Brüche dieser Argumentationsweisen und Konzepte. Um dem nachzugehen und alternative Anordnungen aus der Epigenetik herauszuarbeiten, habe ich im zweiten Teil der Arbeit mit Bezug auf Barads agentiellen Realismus und mit Hilfe ihrer diffraktiven Methodologie (6. Kapitel) ein Schema für mein diffraktives Lesen entwickelt (7. Kapitel) und dieses auf drei Studien angewandt (8. Kapitel).

Die Arbeiten, die Waddington 1940 erstmals als Epigenetik bezeichnete (2.1), zeigten bereits, dass durch den Fokus auf Plastizität und Anpassungsfähigkeit Verschiebungen und Öffnungen entstehen. Waddington ging es bereits um das Zusammenspiel von Entwicklung und Umweltfaktoren. In diesem Zusammenhang ist die Bezeichnung »response« (Waddington 1942: 565) von Bedeutung, ein Begriff, der auch bei Barad und in meinem diffraktiven Lesen eine wichtige Rolle spielt. Auch wenn sich gegenwärtige epigenetische Forschungen von Waddingtons Arbeiten unterscheiden, waren seine Hinweise zu Komplexitäten und zum Zusammenspiel von Organismen mit äußeren Umwelten einflussreich. Bereits hier ist zu beobachten, was ich im 5. Kapitel als ambivalente Gleichzeitigkeit bezeichnet habe: Bewegungen weg von starren Gegensätzen und Kausalitäten und zugleich ein Festhalten an deterministischen Erklärungen, wie sie beispielsweise im Begriff »Programm« deutlich werden. Mit der Fortführung epigenetischer Forschungen, wie sie seit den 1990er Jahren stattfinden (2.2), wurde vieles aufgegriffen, was sich bei Waddington zeigte. Obwohl es nicht bloß eine Definition gibt, die den epigenetischen Gegenstandsbereich beschreibt, ist zahlreichen Arbeiten das Interesse an Plastizität, Umwelteinflüssen und phänotypischen Veränderungen gemein. Die vielen im Feld formulierten Unklarheiten sowie fachliche Kontroversen prägen die Epigenetik heute genauso wie ihr Interesse an RNA und weiteren epigenetischen Mechanismen als Vermittlerin oder Brücke und an der Frage, wie RNAs, Phänotypen oder Organismen »respond to the environment« (Gluckman et al. 2011: 17).

Meine anschließende Fokussierung auf *umweltepigenetische* Arbeiten (2.3) veranschaulichte, welche unterschiedlichen Faktoren als Umwelteinflüsse untersucht werden. Dabei wurde deutlich, dass Mütter in vielen Studien eine prominente Rolle einnehmen. Unabhängig davon, ob Menschen oder Tiere untersucht werden, gelten Mütter oftmals als zentral für die Frage, inwiefern durch Umwelteinflüsse bedingte epigenetische Modifikationen an die nachfolgenden Generationen weitergegeben oder epigenetische Marker beispielsweise durch besonders fürsorgliches Verhalten auch wieder gelöscht werden können. Das Bild der fürsorgenden Mütter wird auf Tiere übertragen und darüber an die Verantwortung von Müttern appelliert.

Einen solchen Bezug auf Mütter problematisieren Autor_innen aus Wissenschafts- und Geschlechterforschung, wie ich im 3. Kapitel gezeigt habe. Nicht nur wegen der Zentrierung von Müttern als Hauptverantwortliche für Gesundheit und Wohlergehen der Nachfahr_innen, sondern beispielsweise auch wegen der Gefahr, dass komplexe Umwelteinflüsse sehr stark reduziert und molekularisiert werden, gibt es viel Kritik an der Epigenetik. Doch während einige Autor_innen die deterministischen und reduktionistischen Erklärungsweisen problematisieren, bewerten andere die Öffnungen umweltepigenetischer Arbeiten als Chance, stärker auf den Zusammenhang von sozialer Ungleichheit, rassistischer oder sexistischer Diskriminierung und gesundheitlicher Beeinträchtigung über Generationen hinweg aufmerksam zu machen.

Dass Analysen sowohl Bedrohungen als auch Potenziale in der Umweltepigenetik ausfindig machen, deckt sich mit den Ergebnissen meiner ersten empirischen Beschäftigung. Meine Analysen von Studien in der Pilotphase (4. Kapitel) bestätigten die Eindrücke, Bedenken und Einwände, die auch im 3. Kapitel deutlich wurden, meiner Darstellung von Diskussionen über Epigenetik in Geschlechter- und Wissenschaftsforschung. In einer der Studien etwa (vgl. Weaver et al. 2004) wird mütterliches Pflegeverhalten für die Stressbewältigung der Nachkomm_innen relevant gemacht und somit mütterliche Fürsorge und Verantwortung nicht nur übersetzt, sondern durch die Übersetzung in epigenetische Mechanismen und biochemische Stressmarker auch biologisiert (4.4). Dass in diesen umweltepigenetischen Studien aber auch etwas anderes angelegt ist, drückt sich darin aus, dass binäre Grenzsetzungen und die Trennung von sozial/biologisch oder Tier/Mensch brüchig werden (vgl. McGowan et al. 2008; 4.3). Zudem geht es in drei der vier Studien um das Vermitteln zwischen verschiedenen Sphären (4.3, 4.4, 4.5) und alle Forschungsteams formulieren Unsicherheiten bezüglich ihrer Ergebnisse. Beide Beobachtungen – das Vermitteln und die Unsicherheiten – habe ich in meinen diffraktiven Apparat (7. und 8. Kapitel) aufgenommen. Wichtig war mir, nicht bei einer wissenschaftskritischen Betrachtung zu bleiben, die vor allem die Problemlagen fokussiert, sondern der Umweltepigenetik offen zu begegnen und nach Anordnungen zu suchen, die den ambivalenten Eindrücken und Einschätzungen des Feldes gerecht werden.

Im 5. Kapitel habe ich ausgeführt, dass sich Umweltepigenetik durch ambivalente Gleichzeitigkeiten auszeichnet und ich daher davon ausgehe, dass auch andere Anordnungen in umweltepigenetischen Studien zu finden sind. Während binäre Einteilungen vordergründig sehr präsent sind, verschwimmen die Grenzen aber auch immer wieder und weisen so auf ihre Verschränkungen hin. Auf die damit verbundenen Fragen des methodischen Vorgehens, wie andere Anordnungen herausgearbeitet werden können, habe ich in Barads diffraktiver Methodologie Antworten gefunden.

Nachdem ich auch Barads agentiellen Realismus und zentrale Begriffe und Ansätze ihrer Theorie und Methodologie dargestellt habe (6. Kapitel), konnte ich ein Schema für ein diffraktives Lesen entwickeln (7. Kapitel). Dafür war es notwendig, sowohl das naturwissenschaftliche Untersuchungsfeld als auch den agentiellen Realismus eingehend darzustellen, um ihre gemeinsamen Berührungspunkte aus den beteiligten Feldern heraus entwickeln zu können. Die Textanalysen, die ich schließlich im 8. Kapitel durchgeführt habe, sind Resultat eines analytischen Prozesses, in dem ich mich von der Epigenetik zu Barad und wieder zurückbewegt habe. Das diffraktive Lesen war ein iterativer Vorgang und Lernprozess. Es ist Ergebnis eines mehrfachen Durchlaufens und Durch-einander-hindurch-Lesens. Durch diese Pendelbewegung konnte ich schließlich die vier Anknüpfungspunkte von Umweltepigenetik und agentiellem Realismus operationalisieren, die mir ein systematisches Vorgehen ermöglichten und meinen diffraktiven Apparat (7. Kapitel) charakterisieren. Für das diffraktive Lesen ist zentral, dass sich die Disziplinen gleichberechtigt begegnen und nicht eine über die andere gestellt wird. Über die gemeinsamen Anknüpfungspunkte – Un/Bestimmtheiten, Phänomene, Relationen und Verschränkungen – (7. Kapitel) war es möglich, neue Perspektiven zu finden. Wie im Vergleich der Studien (8.5) deutlich wurde, haben sich durch mein diffraktives Lesen Anordnungen herauskristallisiert, die andere Figurationen hervorbringen.

Gegenstand meiner Analysen waren damit zwei Ebenen: die feministisch-materialistische Beschäftigung mit Studien aus der Umweltepigenetik, und dies mit Hilfe einer methodischen Erprobung diffraktiver Methodologie. Beides hängt unmittelbar zusammen. In der Einleitung (1. Kapitel) hatte ich meine Arbeit mit der Betrachtung der Epigenetik als Wissenschaft *und* als molekularbiologische Prozesse als Onto-Epistemologie bezeichnet. Dass meine Untersuchung einer »ethico-onto-epistemology« (Barad 1998: 120, Hervorhebung L.K.) folgt, führe ich im Folgenden aus. Die Arbeit leistet Zweifaches: erstens einen Beitrag zur inhaltlichen Auseinandersetzung mit Umweltepigenetik für Geschlechter- und (feministische) Wissenschaftsforschung und zweitens die Erprobung einer Methodologie, die für interdisziplinäre Projekte geeignet ist und der Suche nach »methodological tools for natureculture research« (Subramaniam, Willey 2017: 6) beipflichtet, wie sie nicht nur in feministischer Wissenschaftsforschung unternommen wird, sondern auch in (körper- und wissens-)soziologischen Debatten (vgl. Lemke 2013; Kissmann, van Loon 2019).

Das Zusammenbringen von Naturen und Kulturen im wissenschaftlichen Arbeiten und ihre Theoretisierung als un/trennbare »naturecultures«, wie Banu Subramaniam und Angela Willey es in Anlehnung an Haraway vorschlagen, wird in vielen feministischen Theorien und von einigen Soziolog_innen gefordert, wie ich in der Einleitung (1. Kapitel) gezeigt habe. Lemke formuliert »das Anliegen, traditionelle sozialwissenschaftliche ›Transzendentalien‹ wie die Unterscheidung von Mensch

und Nicht-Mensch oder den Dualismus von Natur und Kultur theoretisch aufzulösen, um sie für die empirische Forschung zu öffnen.« (Lemke 2013: 12, H.i.O.) Wie diese Arbeit zeigt, ermöglicht Barads diffraktive Methodologie, jene Unterscheidungen theoretisch aufzulösen und empirisch zu bearbeiten. Bedeutsam ist dabei, dass mein diffraktives Lesen nicht bloß Gelegenheit für Analysen jenseits binärer Differenzsetzungen bietet, sondern auch ein Weitererzählen der Versuchsanordnungen bewirkt und zu neuen Figurationen befähigt.

Barad erweitert die Verschränkung ontologischer und epistemologischer Ebenen um eine ethische. Auch mit den methodologischen Anteilen der vorliegenden Untersuchung sind ethische verknüpft. Die Frage, wie ich in der Umweltepigenetik auch andere Anordnungen herausarbeiten kann, ohne eine feministisch-materialistische Lesart aufzuoktroyieren, ist eine methodische und ethische zugleich. Mein diffraktives Lesen ist mit dem Versuch, dies zu beantworten, Kern der Arbeit. Ethisch ist diese Frage, weil mein eigenes Beteiligt-Sein an Schnitten und Figurationen anerkannt werden muss und nicht der Illusion einer ›unschuldigen‹ Position verfallen darf, wie Haraway es in ihrem Cyborg-Manifest formuliert (vgl. Haraway 1995a: 70). Ihre Arbeiten zeichnen sich durch utopische, fantasievolle, feministische Erzählungen aus, die mit neuen Mythen und Figuren Alternativen für hegemoniale, heteronormative, rassistische und weitere gewaltvolle Varianten bieten. Zugleich betont Haraway, dass feministische Reformulierungen ebenso eingenommen sind (vgl. Haraway 1995c: 141). Das diffraktive Lesen ermöglicht, die Differenzsetzungen in anderen Anordnungen aus den umweltepigenetischen Studien herauszuarbeiten und die Verschiebungen hin zu Verschränkungen zu veranschaulichen. Ich argumentiere dafür, mit Barad eine agentiell realistische und somit eine realistischere Beschreibung leisten zu können, die das Potenzial hat, binäre und heteronormative Logiken zu durchbrechen. Das bedeutet nicht, dass mein diffraktives Lesen als so etwas wie die einzig wahre Lesart oder als unvoreingenommen zu bewerten ist. In feministischer Wissenschaft geht es um die Veränderung von Möglichkeiten und nicht um »einen besonderen Weg zur Wahrheit« (ebd.: 142).¹ Mein diffraktiver Apparat verändert Versuchsanordnungen und Wissenschaftspraxis und bringt so neue Figurationen mit hervor.

Ein wichtiger Bezugspunkt von Barad und auch meiner Auseinandersetzungen mit feministischer Wissenschaftstheorie und mit Differenzsetzungen in Naturwissenschaften sind Haraways Arbeiten. Auf der Suche nach methodischen Antworten darauf, wie ich den ambivalenten Gleichzeitigkeiten in der Umweltepigenetik

1 In einem jüngeren Artikel schreibt Haraway: »Also suche ich nach wahren Geschichten, die gleichzeitig spekulative Fabulationen und spekulative Realismen sind.« (Haraway 2018a: 20 [Orig. 2014]) Haraway schreibt hier, sie suche nach Wahrheit, doch indem sie diese mit Spekulation zusammen nennt, distanziert sie sich von einer positivistischen Vorstellung von Wahrheit.

nachspüren kann, lieferte mir Barad mit ihrer diffraktiven Methodologie passende und hilfreiche Werkzeuge. Haraways Begriffe und Konzepte fanden immer wieder Anklang in meinem diffraktiven Lesen und das verstärkt sich nun zum Ende hin. Das ist vor allem damit zu erklären, dass das diffraktive Lesen in drei neue Figurationen mündet.

Denn Haraway – wie auch andere feministische Theoretiker_innen (z.B. Subramaniam 2014; Kenney 2019; Tsing 2018) – rufen dazu auf, andere Geschichten zu erzählen: »Die Neuaufteilung eines narrativen Feldes durch das Erzählen einer anderen Version eines Grundmythos ist ein wesentlicher Prozeß im Herausarbeiten neuer Bedeutungen.« (Haraway 1995c: 148) Haraway spricht seit langem davon, den weitverbreiteten Erzählungen in und durch Wissenschaften andere »Visionen« entgegensetzen, und tat dies beispielsweise mit ihrer Figur der Cyborg (1995a [Orig. 1985]) oder der OncoMaus ((1997), s. 8.3.4). Das führt sie weiter in der Figur »SF« aus, mit der sie Zahlreiches bezeichnet:

»Science-Fiction, spekulative Fabulation, Spiele mit Fadenfiguren (*string figures*), spekulativer Feminismus, *science fact* (wissenschaftliche Fakten), *so far* (bis jetzt). [...] Wissenschaftliche Fakten und spekulative Fabulationen brauchen einander und beide brauchen einen spekulativen Feminismus.« (Haraway 2018d: 11, H.i.O.)

Anhand der ambivalenten Anordnungen in umweltepigenetischen Studien bietet die vorliegende Arbeit die Gelegenheit, Figurationen zu entwickeln, die Neues eröffnen. Auf der Grundlage meines diffraktiven Lesens wird es möglich, Differenzsetzungen anders weiter zu erzählen und neue Geschichten zu beginnen. An Haraway und Rosi Braidotti anknüpfend, schlägt Thiele vor, mit spekulativen Figuren zu denken: »Figurieren als spekulativ-kritisches Werkzeug für eine andere Vorstellung von Welt ist eine der fundamentalen feministischen Interventionen, wenn es um das Entwickeln einer onto-epistemologischen Methodologie innerhalb feministischer Forschungspraxis geht.« (Thiele 2020: 43) Da es auch mir um die Erprobung einer feministisch-materialistischen Methodologie (diffraktives Lesen) ging und die Untersuchung einer »ethico-onto-epistemology« folgt, begreife ich Thieles Vorschlag als sehr passend, um am Ende das Potenzial der diffraktiven Methodologie und speziell des diffraktiven Lesens umweltepigenetischer Studien zu verdeutlichen.

Ich hatte zu Beginn der Arbeit angekündigt, nicht ausschließlich Analysen zu machen, sondern auch nach neuen Anordnungen in der Umweltepigenetik zu suchen. Welche Implikationen das hat, kann nun im Anschluss an Haraways und Thieles Überlegungen zu einer Praxis des Figurierens verdeutlicht werden. Thiele schreibt: »Figurieren trägt zum Schaffen bestimmter Welten bei.« (ebd.: 55) Was ich durch die Figurationen verändere, muss ich verantwortlich behandeln. Dabei geht es darum, die Widersprüchlichkeit anzuerkennen, die sich mit einem solchen Unterfangen einstellt, und weder das diffraktive Lesen noch das Weitererzählen

als einen abgeschlossenen und unschuldigen Prozess zu verstehen. Denn ich bin in diesem Anders- und Weitererzählen der Figurationen involviert. Das bedeutet zum Beispiel, dass ich nur für manches aufmerksam bin und ebenfalls spezifische Erzählungen vornehme.² Diese Begrenztheit ist nicht zu lösen, denn es kann weder eine vollständig verantwortende noch eine unvoreingenommene Position geben. Mein Umgang damit war, nah an den umweltepigenetischen Studien zu bleiben und offen zu sein für Anordnungen *aus* dem Feld. Mein diffraktives Lesen führt mich schließlich darüber hinaus. Nun kann ich einige immer wiederkehrende Themen und Begriffe der Studien als zentrale Figurationen benennen, anhand derer ein anderes Erzählen möglich wird. Das ist nicht bloß deskriptiv, sondern macht die Verbindung deutlich, die sich in Barads »ethico-onto-epistemology« ausdrückt: Es ist eine andere Epistemologie, die zum materiellen Welt-Werden (Ontologie) beitragen kann. Somit wird erneut erkennbar, inwiefern sich mit der methodischen Frage eine ethische Komponente verbindet.

In der Figuration der »Mütter« (9.1) beziehe ich mich auf die ersten beiden Studien aus dem diffraktiven Lesen, Gaeini et al. (2016) und Marty et al. (2016). Die Figuration »response« (9.2) entwickle ich mit Bezug auf die Studie von Su-Keene et al. (2018) und beende diese Arbeit mit der Figuration »Epigenetik als Intra-aktion« (9.3). Jene Figurationen geben erste Anstöße für ein Weitererzählen. Neue Geschichten zu entwerfen und zu etablieren, ist weder ein einfacher noch ein einmaliger Prozess. Feministische Analysen zeigen immer wieder die Notwendigkeit und Dringlichkeit, sich mit hegemonialen, heteronormativen, machtvollen, hierarchisierenden, diskriminierenden Anordnungen und Erzählungen auseinanderzusetzen und ihre Präsenz und Permanenz nachzuvollziehen. Besonders produktiv wird es dann, wenn darüber hinaus andere Geschichten weitererzählt werden, die offene, heterogene, uneindeutige Perspektiven, Lebensweisen und Lebewesen in den Fokus rücken. So wird es möglich, sich das gängige Vorgehen anzueignen, Geschichten zu entwerfen und sie als Maßstab zu setzen, aber mit anderen als den üblichen Inhalten zu füllen.

»Feministische Kritik adressiert Wissenschaft als soziales Feld und als Feld der Erkenntnis und geht dabei nicht nur davon aus, dass sich Macht- und Herrschaftsver-

-
- 2 Es ist mir weniger wichtig danach zu fragen, warum mich manches affiziert, als vielmehr danach, inwiefern Figurationen andere Geschichten eröffnen und hegemoniale unterbrechen können. Die Auseinandersetzung mit der ersten Frage könnte Aufschlüsse über mein Beteiligt-Sein am diffraktiven Apparat und am Weitererzählen neuer Figurationen geben. Dies wird hier aber nicht weiterverfolgt. Zu viele Faktoren können hierfür ausschlaggebend sein, zum Beispiel, dass ich im Laufe der Arbeit selbst Mutter geworden bin und zu meiner feministischen Auseinandersetzung mit Mütter-Diskursen meine eigenen materiellen Erfahrungen kommen. Dies verkompliziert und erleichtert mir, Mütter als materiell-diskursive Verschränkungen (9.1) zu denken.

hältnisse in beiden fortsetzen, sondern unterstellt auch, dass alternative Wissensproduktion performativ wirkt und zur Transformation von Herrschaftsverhältnissen beitragen kann.« (Mendel 2015: 50)

Was Iris Mendel formuliert, impliziert auch, Verantwortung zu übernehmen und auf die alternativen Möglichkeiten zu antworten sowie die Notwendigkeit zu erkennen, den konventionellen Geschichten entgegenzutreten und andere Entwürfe anzubieten. Auch das ist kein unschuldiger Prozess, in dem genauso wenig alle/s mitgedacht oder eine Version der Geschichten geschaffen werden kann, die allen gerecht wird. Darum kann es nicht gehen. Trotzdem gilt es, immer wieder neue Geschichten zu erzählen.

9.1 Mütter als Verschränkungen

Es war bereits vor dem diffraktiven Lesen (8. Kapitel) anzunehmen, dass sich in Studien aus einem Feld, das sich für Körperäußeres öffnet und für Umwelteinflüsse und transgenerationelle Effekte interessiert, verschiedene Verschränkungen zeigen würden. Das bestätigen meine Befunde aus dem diffraktiven Lesen. Unter dem ersten Anknüpfungspunkt Un/Bestimmtheiten habe ich dargestellt, dass in der Studie von Gaeini et al. (2016) an die Verantwortung von Müttern appelliert wird und dabei Menschen und Mäuse nicht mehr unterscheidbar sind (s. 8.2.1). Die damit verbundenen Grenzsetzungen und -überschreitungen brachten nicht nur die mehr-als-menschlichen Verschränkungen hervor, sondern auch transgenerationelle und raumzeitliche. Solche Verschränkungen haben das Potenzial, die hegemoniale Variante einer Geschichte zu unterbrechen, da sie auch eine andere Lesart bereithält.

Eine Figur, die bei Gaeini et al. (2016) und Marty et al. (2016) immer wieder auftaucht, ist die der Mutter. Ich schlage im Folgenden vor, »Mütter« als Verschränkungen zu denken. Denn in beiden Studien entfalten sich die Muttertiere als transgenerationelle, raumzeitliche und speziesübergreifende Verschränkungen. Die Zentrierung von Müttern in der Epigenetik, die in feministischer Wissenschafts- und Geschlechterforschung vielfach problematisiert wird (3. Kapitel), setzte sich auch in meinem diffraktiven Lesen fort. Im Vergleich (8.5) von Gaeini et al. (2016) und Marty et al. (2016) zeigte sich, dass bei allen Varianten von Verschränkungen Mütter vorkamen. Die bisherige Auseinandersetzung feministischer Wissenschaftstheoretiker_innen mit der besonderen Verantwortlichkeit von Müttern als Entitäten in der Epigenetik weist auf die Notwendigkeit hin, andere Geschichten zu etablieren. Auf Basis meines diffraktiven Lesens kann ich nun dafür argumentieren, die Figuration der Mutter als facettenreiche Verschränkung zu begreifen und dadurch den Blick von einer speziellen mütterlichen und weiblichen Verantwortlichkeit auf ihre Ver-

schränktheiten zu lenken. Mütter als verschränkt und intra-aktiv (re)konfiguriert zu verstehen, erlaubt nicht mehr, ihnen die alleinige Verantwortung anzulasten. In dieser Lesart handelt es sich nicht um separate Entitäten oder isolierte Lebewesen. Mütter sind vielmehr Ausdruck der Un/Trennbarkeit verschiedener Generationen, Räume, Zeiten und Spezies, die sich in ihrer komplexen Verschränktheit als Mütter materialisieren. Verantwortung für die nächste(n) Generation(en) ist so nicht mehr nur Müttern zuzuschreiben, sondern Ausdruck und Aufgabe zahlreicher Agencies und damit relational zu begreifen.

Bezugnehmend auf werdende Mütter unternimmt Chikako Takeshita einen ähnlichen Versuch und argumentiert mit Bezug auf Barads agentiellen Realismus für ein anderes Verständnis schwangerer Körper. Ausgehend vom binär gedachten Modell zweier getrennter Entitäten – Mutter und Fötus – plädiert Takeshita für eine holistischere und symbiotischere Auffassung. Fortpflanzung, Schwangerschaft und die Zeit nach der Geburt nicht in konventionellen Dualismen zu denken, fordere heteronormative Elternschaft, Mutter-Fötus-Konkurrenz und die Romanisierung dieser Verbindung sowie raumzeitliche Einteilungen (vor/nach Geburt) heraus. Dies ermöglicht Takeshitas Figuration des »Motherfetus-Holobiont as a Queer Feminist Figure« (Takeshita 2017: 19),³ die sie als Cyborg im Haraway'schen Sinne entwirft. Sie räumt ein, dass diese Cyborg nicht unschuldig und keine feministische Lösung für alle Probleme sein kann. Doch ermöglicht ihr Motherfetus-Holobiont, Reproduktion nicht nur als heteronormatives Projekt und Schwangerschaft ausschließlich an Mutter-Sein als weibliche Norm geknüpft, sondern als raumzeitliche Verbindung zahlreicher Agencies zu begreifen. Durch Takeshitas Berücksichtigung komplexer mikrobieller und bakterieller Prozesse während der Reproduktion und Schwangerschaft bei Säugetieren wird die Vorstellung von separaten Entitäten sowie vergeschlechtlichten Binaritäten herausgefordert und die Argumentation von Abtreibungsgegner_innen geschwächt, derzufolge der Fötus ein unter allen Umständen zu schützendes Individuum sei (vgl. ebd.: 14). Takeshitas neue Erzählung hat das Potenzial, hegemoniale Geschichten mit all ihren Konsequenzen zu stören. Ihre Beschreibung, dass »motherfetus-holobiont [...] not a fixed or universal materiality« (ebd.: 20) ist, ermöglicht ein ähnliches verschränktes und

3 Auch Haraway nutzt den biologischen Ausdruck des Holobionten, der die Gesamtheit von Wirtsorganismus mit anderen Arten (z. B. Bakterien) beschreibt und somit ein gesamtes Lebewesen charakterisiert, das nicht nur aus einem Individuum besteht. Haraway bezeichnet damit »symbiotische Assemblagen« und spezifiziert: »Sie ähneln damit eher den Knotenpunkten unterschiedlicher intra-aktiver Bezüge in dynamischen, komplexen Systemen und weniger den Gebilden einer Biologie, die sich aus vorgegebenen und umgrenzten Einheiten (Genen, Zellen, Organismen etc.) zusammensetzt, welche lediglich auf kompetitive oder kooperative Art miteinander interagieren können.« (Haraway 2018b: 86) Siehe hierzu auch Gilberts Artikel *A holobiont birth narrative: the epigenetic transmission of the human microbiome* (vgl. Gilbert 2014).

relationales Verständnis von Müttern, wie ich es mit Bezug auf die Studien von Gaeini et al. (2016) und Marty et al. (2016) vorschlage.

Angenommen, jene erfolgreiche Epistemologie der verantwortlichen Mütter käme an ihr Ende und würde undenkbar, wie Haraway es formuliert (vgl. Haraway 2018c: 47), welche Möglichkeiten bieten sich dann, wenn Mütter als Verschränkungen verstanden werden? Die raumzeitlichen und transgenerationellen Verschränkungen, die sich zu Mäusemüttern materialisieren und andere Narrative erlauben, sind häufig Basis heteronormativer und sexistischer Geschlechtervorstellungen. Das diffraktive Lesen bietet jedoch Gelegenheit, Mütter umzubesetzen und nicht bloß als weibliche Wesen zu verstehen. Anhand der Studie von Gaeini et al. (2016) lässt sich gut veranschaulichen, was sich zu »Müttern« verschränkt. Denn es sind nicht bloß einzelne Mäusemütter, die einflussreich sind für die Gesundheit ihrer Töchter, sondern es sind Verschränkungen aus Tieren und Menschen, mehreren Generationen, Training, Lebensstil, Geschlechterstereotypen, Käfigen, Laufrädern mit Sensoren, Vergangenen und Zukünftigem, Stress, Knochen, Osteoporose, Forscher_innen, Genexpression, Plazenten und Föten, Labornahrung sowie der Mittlerinnenposition, die sich zu Müttern konstituieren und un/trennbar in ihnen verbunden sind. Die unvollständige Aufzählung verdeutlicht, dass es sich bei Müttern nicht um separate Entitäten oder singuläre Wesen handelt. Sie sind stattdessen genauso durchlässig wie (alle) andere(n) Phänomene und werden immer wieder durch unzählige Intra-aktionen zu Verschränkungen. Eine Mutter verfügt somit weder über sich noch über die Nachkomm_innen oder ihre Gesundheit, sondern antwortet auf agentielle Schnitte und materialisiert sich immer wieder situativ. Mütter sind weder losgelöst von normativen Geschlechterstereotypen zu verstehen noch von materiellen Umständen und Zusammensetzungen. Diffraktiv gelesen, bieten die umweltepigenetischen Studien die Gelegenheit, Mütter als materiell-diskursive Verschränkungen weiter zu erzählen und sie somit von individualisierten, vergeschlechtlichten und heteronormativen Verantwortlichkeiten zu lösen. Mütter als Verschränkungen antworten auf vielmehr als auf idealisierte Mutterbilder und Fürsorge-Diskurse. Denn es wurde deutlich, dass auch verschränkte Zeitlichkeiten, Labor- und Versuchsbedingungen, Umwelteinflüsse, epigenetische Modifikationen und andere Bestandteile von Apparaten daran beteiligt sind, was verkürzt als »maternal effects« (Weaver et al. 2004: 847, 852) bezeichnet und somit in den Verantwortungsbereich von Müttern projiziert wird.

Meine kleinschrittigen Textanalysen (8. Kapitel) verlassend, argumentiere ich, dass es durchaus für weitere umweltepigenetische Arbeiten passend ist, Mütter als Verschränkungen zu begreifen. Umweltepigenetische Studien und Texte machen dramatische und schmerzhaft transgenerationelle Verschränkungen deutlich, die Spuren von traumatischen Erfahrungen in den nachfolgenden Generationen untersuchen. So könnte es zum Beispiel durch Studien, die epigenetische Modifikationen und deren gesundheitliche Folgen für Nachkomm_innen von Holocaust-

Überlebenden untersuchen (vgl. z.B. Dashorst et al. 2019), möglich sein, Mütter als raumzeitliche, transgenerationelle Verschränkungen zu denken. Mütter als Verschränkungen implizieren in diesem Fall, sie nicht als abgegrenzte Entitäten zu konzipieren, sondern die Komplexität und Tragweite antisemitischer, heteronormativer oder sexistischer Gewalt mit einzubeziehen, ohne Mütter als primär Verantwortliche und Fürsorgende weiterzuerzählen. Während es mir bei der Figuration der Mutter als Verschränkung darum geht, die Zentrierung auf eine spezifische mütterliche Verantwortung und somit das fürsorgliche Frauenbild zu stören, zeigen andere Debatten die Notwendigkeit, auf die Weitergabe von Gewalt- und anderen traumatischen Erfahrungen durch epigenetische Modifikationen bei Müttern immer wieder aufmerksam zu machen. Auch für epigenetische Studien, die Folgen von anti-semitischen Massenhinrichtungen (vgl. ebd.) oder rassistischer Gewalt (vgl. Kuzawa, Sweet 2009) verdeutlichen, wäre zu prüfen, ob sich ebenfalls eine solche Figuration anbietet, nach der die Mutter nicht mehr als vergeschlechtlichte Hauptverantwortliche zu denken ist, sondern als (Re-)Konfiguration und verschränkte Materialisierung ohne feste Grenzen und Eigenschaften. Ich schlage also vor, die in epigenetischen Studien prominent vertretene Figuration der Mutter als Verschränkung anders weiter zu erzählen, und möchte anregen, dies anhand weiterer Studien und Forschungsbereiche zu tun. Zu fragen wäre beispielsweise, wie jene umweltepigenetischen Studien zu bewerten sind, die die Rolle der väterlichen Weitergabe von Umwelteinflüssen untersuchen (wie z.B. Gapp et al. (2014), s. 4.5 oder Su-Keene et al. (2018), s. 8.4). Mütter als Verschränkungen bergen das Potenzial, auf gewaltvolle normative Differenzsetzungen aufmerksam zu machen und sich davon situiert zu lösen.

9.2 ›responses‹ als Un/Bestimmtheiten

Ein zentraler Befund meines diffraktiven Lesens entlang des Anknüpfungspunktes Un/Bestimmtheiten war, dass ›responses‹ in jeder der drei Studien andere Anordnungen deutlich machen. Das ermöglicht mir nun ein alternatives Weitererzählen. Die Öffnung der Studien für Körperäußeres und das Erwähnen von ›responses‹ resoniert mit Barads onto-epistemologischer Un/Bestimmtheit und so etabliert sich eine andere Perspektive: Es werden zahlreiche nicht-menschliche Agencies ableitbar, auf die Un/Bestimmtheiten und Verschränkungen hinweisen und die dadurch einen menschlichen Exzeptionalismus stören.

Der Begriff ›response‹ ist in naturwissenschaftlichen Debatten gängig. Üblich ist dieser besonders in Bezug auf Anpassungsfähigkeit an (sich verändernde) Umwelten (vgl. Godfrey et al. 2013). Somit ist auch die zweite Figuration, anhand der ich ein Weitererzählen erprobe, im Feld selbst prominent vertreten. Zugleich gehe ich über die dort verbreitete Lesart hinaus, wenn ich ›response‹ wört-

lich als Fähigkeit zu antworten und Agency somit nicht als menschliches Alleinstellungsmerkmal verstehe. Barad, Haraway und andere feministische Theoretiker_innen lesen das englische ›responsibility‹ als ›ability to respond‹ und somit gehören zur Frage nach ›response‹ auch Verantwortung und (Antwort-)Fähigkeiten. Agency dann nicht bloß als menschlich zu begreifen, sondern auch als Eigenschaft nicht-menschlicher Körper, distanziert sich von einer anthropozentrischen Sichtweise, schmälert aber die besondere Verantwortlichkeit von Menschen nicht.

Dieser wichtige Aspekt wird in feministisch-materialistischen Ansätzen betont und knüpft an die drei Studien und ihre ›responses‹ an, besonders an die von Su-Keene et al. (2018). Bath et al. formulieren:

»Das wäre unseres Erachtens der spezifische Einsatz einer feministisch-materialistischen Konzeption von Verantwortung: Antworten auf die Verletzbarkeit und Zerstörbarkeit einer Welt, deren Teil wir sind und damit Sorge um etwas, von dem wir uns nicht trennen können, von dem wir aber zugleich nicht wissen, was es ist und was es sein wird.« (Bath et al. 2017: 10)

Die Erweiterung der Antwortfähigkeit, wie ich sie aus den Studien herausarbeiten konnte, bedeutet, eine anders gelagerte Verantwortlichkeit zu vertreten, mit der der exklusive Status des Menschen nicht überhöht, aber zugleich die enorme zerstörerische Kraft von Menschen anerkannt wird. Dabei geht es darum, dass nicht-menschliche Agencies an den Forschungsprozessen beteiligt waren – Labortiere, Mitochondrien oder auch Evolution – und dies auf unterschiedliche Weisen. Aber wie kann man aufmerksam sein für andere als menschliche Antwortfähigkeiten? »Die Herausforderung besteht [...] darin, in jedem spezifischen Kontext unscharfe agentische Fähigkeiten zu identifizieren, da diese auf riskante und vorläufige Weise zum Vorschein kommen.« (Coole 2014: 37) Dies ermöglichte mein diffraktives Lesen. Die ›responses‹ in den drei Studien und die Schwierigkeit, klar zu benennen, wessen Antwortfähigkeit nun sichtbar wird, zeigen, dass es keine abgegrenzten menschlichen oder nicht-menschlichen Entitäten gibt, die Verantwortung übernehmen, sondern diese situiert, lokal und in ihrer Relationalität und Verschränktheit miteinander gedacht werden müssen. Mit der Herausforderung zu identifizieren, wer/was antwortet, traten zahlreiche Agencies in ihrer Verschränktheit zu Tage. So konnte ich aus den Studien ableiten, dass die Fähigkeit zu antworten un/bestimmt ist und es kein Subjekt gibt, das diese Fähigkeit immer schon besitzt. Agency ist nicht etwas, das jemand oder etwas innehat, sondern: »Agency is ›doing‹ or ›being‹ in its intra-activity.« (Barad 2007: 178, H.i.O.)

Bei Su-Keene et al. (2018) sind unzählige Agencies im Antworten involviert und Verantwortung kann nicht bloß einer Entität zugeschrieben werden. Das zielt nicht darauf ab, die menschliche Verantwortung zu minimieren, im Gegenteil. Bei der Brisanz des Themas Klimaerwärmung ist es zentral, Körper nicht als separat zu begreifen, sondern als miteinander verschränkt, einander bedingend und verant-

wortend. In der Einleitung zu *Unruhig bleiben* betont Haraway: »Wir werden miteinander oder wir werden gar nicht« (Haraway 2018d: 13). Es geht darum, die Fähigkeit zu antworten nicht mehr bloß als menschliche Eigenschaft zu sehen und dabei die menschliche Verantwortlichkeit nicht zu leugnen. Die Studie von Su-Keene et al. (2018) bietet die Gelegenheit, Verantwortung in ihrer Verschränkung zu denken, da hier zahlreiche Agencies zusammenwirken. Pseudoskorpione in Panama und in US-amerikanischen Laboren wurden erkennbar als fähig zu antworten, aber nicht sie allein. Denn auf un/bestimmte Weise sind Epigenetik, Evolution, Forschende und Klimawandel als Antwortfähigkeit verschränkt. Die »Verletzbarkeit und Zerstörbarkeit« (Bath et al. 2017: 10) der Pseudoskorpione und der Küstenregionen werden im Antworten deutlich, in dem sich veränderte epigenetische Regulationen, Klimaerwärmung, Mitochondrien, miRNAs und piRNAs, reduzierte Reproduktionsfähigkeit, Spermien und vieles mehr überlappen. Es ist un/bestimmbar, wer am Antworten, den »epigenetic responses« (Su-Keene et al. 2018: 2) und den »adaptive evolutionary responses« (ebd.: 3) alles beteiligt ist. Das diffraktive Lesen brachte hervor, dass vieles in den »respons_abilities« verschränkt ist. Un/bestimmt bleibt, wer genau antwortet – wobei »wir zugleich nicht wissen, was es ist und was es sein wird« (Bath et al. 2017: 10) – aber doch auf die zerstörerische Kraft der Folgen des Klimawandels hinweisen kann. Wenn Verantwortung nicht als an ein menschliches Subjekt gebunden verstanden wird, weil agentiell realistisch nicht von Subjekten als abgeschlossenen Entitäten auszugehen ist, dann ist Verantwortung keine moralische Frage, sondern der Aufruf, die Relationalität und Verschränktheit der Agencies zu begreifen. Somit berührt diese zweite Figuration auch die erste (Mütter als Verschränkungen, s. 9.1). Anzuerkennen, dass Epigenetik, Pseudoskorpione und Spermien, Forschende, Labore und Küstenabschnitte mit Evolution und Klimaerwärmung verschränkt sind, verdeutlicht, dass nichts davon durch Menschen verfügbar gemacht werden kann, schmälert aber nicht deren spezifische Verantwortlichkeiten. Das ist zentral, um Verantwortung zu übernehmen und diese in ihrer Intra-aktivität zu verstehen.

Die Pseudoskorpione bei Su-Keene et al. (2018) und ihr Leben im (simulierten) Klimawandel ermöglichen mir, die »responses« nicht nur als un/bestimmt, sondern auch als naturkulturell im Sinne Haraways (vgl. Haraway 2003) zu erzählen. Das bedeutet, sowohl die Pseudoskorpione als auch Klimawandel in ihren Relationen wahrzunehmen. Welche Geschichte haben die Pseudoskorpione? Eingesammelt wurden sie in Gebieten der Westküste Panamas, dann in die USA transportiert und dort für Forschungszwecke gezüchtet, getötet und untersucht. Zu ihnen passt, was Subramaniam über die Blumen schreibt, denen sie ihr Buch über Variationen widmet: »through their extraordinary naturecultural genealogies, their geographies mapped to global travels of colonialism and commerce, [...] their biographies woven into so many lives, including mine« (Subramaniam 2014: 224) verkörpern die »morning glories« ihr Buch. Die Pseudoskorpione im diffraktiven

Lesen illustrieren die Relationen, die sie konstituieren. Und so können umwelt-epigenetische Studien als Anlass genommen werden, auf die materiell-diskursive Verschränktheit von Anthropozentrismus, Positivismus, (Post-)Kolonialismus und zahlreichen anderen (Ungleichheits-)Verhältnissen hinzuweisen, die Differenzsetzungen und Hierarchisierungen (re-)konfigurieren. Daher schlage ich vor, in umweltepigenetischen Studien, in denen sich verschränkte Fähigkeiten zu antworten artikulieren, »responses« als un/bestimmt und als naturkulturell aufzufassen. Das knüpft da an, wo umweltepigenetische Studien sich für Körperäußeres öffnen und auf das Zusammenspiel zahlreicher Einflüsse verweisen, wie Gluckman et al. formulieren:

»It is clear that how the organism responds to the environment at any stage in its life is not solely dependent on its genotype, but is also heavily dependent on its developmental history, and in large part this is likely mediated directly or indirectly through its epigenotype.« (Gluckman et al. 2011: 17)

Mein diffraktives Lesen anhand des Anknüpfungspunkts Un/Bestimmtheiten, anhand dessen ich eine andere Lesart von »response« ableite, bestärkt meine Annahme, dass die umweltepigenetischen Studien nicht bloß über Interaktionen Auskunft geben, sondern auf Intra-aktionen hinweisen. Denn die unterschiedlichen Formen der Agency drücken sich in den Intra-aktivitäten aus, die zu den untersuchten Phänomenen führen. Die umweltepigenetischen Studien ermöglichen mir also, die dort gängige Figuration der »response« aufgrund ihrer artikulierten Intra-aktivität als Un/Bestimmtheit und NaturKulturen weiterzuerzählen. Subramaniam und Willey formulieren:

»Science here is storytelling, not *seperate* from non-science but *like* those theories that don't count, another set of narrative resources for imaging what we are and might become, for undergirding less violent imaginaries about human/non-human/planetary futures.« (Subramaniam, Willey 2017: 8, H.i.O.)

Umweltepigenetische Erkenntnisse über die Folgen von Klimaerwärmung anders weiterzuerzählen, ist eine Gelegenheit, verantwortlich auf aktuelle, zerstörerische Entwicklungen zu antworten.

Dieses Schlusskapitel wendet sich mit neuen Geschichten auf der Basis von naturwissenschaftlichen Studien explizit politischen Themen zu. Coole schlägt vor, neue materialistische Theorien nicht bloß als andere Ontologien, sondern auch als »Politik der Materialisierung« (Coole 2014: 29) zu nutzen. Sie formuliert:

»Eine Art und Weise, in der sich hier der *materialist turn* manifestiert, besteht dementsprechend in der Besorgnis über die Auswirkungen der Menschen auf die umfassendere biophysische Umwelt und vice versa. Aus dieser Sicht reagiert der *materialist turn* auf das dringende Bedürfnis der Sozialwissenschaften, ihre kritische

Aufmerksamkeit auf die unmittelbare Bedrohung des Lebens selbst zu richten.« (ebd.: 34, H.i.O.)

Damit stellen Theorien wie auch die von Barad »einen materialistischen Rahmen für Fragen der sozialen Gerechtigkeit bereit« (ebd.). Sozial ist in diesem Kontext keineswegs nur als auf Menschen bezogen zu verstehen. Schließlich ging es darum, die Figuration der »response« als speziesübergreifende, un/bestimmte Verantwortung zu begreifen. Somit können umweltepigenetische Studien als Gelegenheit zur Auseinandersetzung mit Differenzen, Geschlechtergerechtigkeit, Klimagerechtigkeit und dem Zusammenspiel verschiedener Leben und Umwelten genutzt werden, die all das und viele weitere Aspekte als NaturKulturen begreifbar machen.

9.3 Fazit: Epigenetik als Intra-aktion

In Vorträgen und Gesprächen über Epigenetik und mein Projekt habe ich mehrfach einen Satz aus der Studie von Weaver et al. (s. 4.4) zitiert, den ich auch an den Anfang dieser Arbeit gestellt habe und der eine charakteristische Beschreibung des Feldes darstellt: »These studies offer an opportunity to clearly define the nature of gene-environment interactions during development« (Weaver et al. 2004: 852). Mein Anliegen war es, mit dieser Untersuchung zu zeigen, dass auch andere Anordnungen in Umweltepigenetik vorhanden sind. So leistet die Arbeit mit der Erprobung der diffraktiven Methodologie einen Beitrag zu methodologischen Herausforderungen in feministisch-materialistischen Debatten und veranschaulicht, dass umweltepigenetische Studien auch Intra-aktionen hervorbringen. Wenn Gene und Umwelten und alle anderen genannten Differenzen im Feld als Intra-aktionen begriffen werden, entsteht ein anderes Verständnis von Welt, das nicht von festen Grenzen und Entitäten ausgeht, sondern Dynamiken und Agencies ernst nimmt und auf sie antwortet. Thiele formuliert: »difference is the force constituting everything and so it matters at every turn and every moment ›how‹ and ›what for‹ our engagement with the world is, and how we account for the effects of our differential becomings« (Thiele 2014: 14, H.i.O.).

Das knüpft unmittelbar an eine weitere charakteristische Beschreibung der Epigenetik an, nach der sie eine Brücken- oder Mittlerinnenfunktion einnimmt (vgl. Leuzinger-Bohleber, Fischmann 2014: 74; Schmidt 2014: 259). Darin ist schon angedeutet, dass hier nicht bloß Hinweise auf das Zusammenspiel von (zwei) differentiellen Polen wie zum Beispiel Genen und Umwelt angelegt sind, sondern auch verschachtelte, verstrickte, komplexere Zusammenhänge vorliegen als in binären Gegenüberstellungen. Auf die Rolle der Mittlerin zurückkommend, beende ich diese Arbeit, womit ich sie begonnen habe, und argumentiere, dass sich in der Epigenetik nicht bloß Interaktionen, sondern Intra-aktionen zeigen. In dieser dritten

Figuration ziehe ich somit ein abschließendes Fazit und beurteile das Potenzial umweltepigenetischer Studien für interdisziplinäre Auseinandersetzungen zu Differenzen und ihren Implikationen.

Die RNA wird sowohl in der Literatur über Epigenetik als auch in Studien aus dem Feld häufig als Mittlerin beschrieben (s. 2. und 3. Kapitel). Diese Charakterisierung habe ich auch in der Pilotphase gefunden und daher für das diffraktive Lesen Studien ausgewählt, die ebenfalls RNAs untersuchen. Im Vergleich der drei Studien (8.5) wurde deutlich, dass RNAs als Mittlerinnen zwischen Umwelteinfluss und phänotypischer Veränderung zu verstehen sind und hiermit andere als bloß binäre Anordnungen sichtbar werden. Bei Marty et al. (2016) blieb unklar, ob die RNA überhaupt als Mittlerin fungiert, und bei Su-Keene et al. (2018) störte die RNA nicht bloß als dynamische Mittlerin lineare Kausalitäten, sondern wurde auch als Netzwerk bezeichnet. Durch diese beiden Befunde ist es möglich, die Figuration von RNA als Mittlerin zu präzisieren: In 8.5 habe ich dafür argumentiert, RNAs nicht im positivistischen Verständnis linearer Kausalitätsketten einfach zwischen Umwelteinfluss und Veränderungen darzustellen, sondern als Netzwerke, die Linearitäten überschreiten. Auf dieser Basis formuliere ich, dass die Rolle, die der Epigenetik insgesamt oftmals zugeschrieben wird, nicht eine Position dazwischen charakterisiert, die ein lineares Verständnis von Interaktionen bedingt, sondern verschränkter, relationaler und un/bestimmter auf Intra-aktionen hinweist.

Unter dem Anknüpfungspunkt Relationen resonierten alle drei Studien mit Barads Verständnis von Kausalität und so eröffneten sich andere Anordnungen, die die umwelt-epigenetische Besonderheit des Vermittelns und des Dazwischens – zum Beispiel zwischen Genen/Umwelten oder Körperinnerem/Körperäußerem – als Intra-aktionen ableitbar machen. Nach einer intensiven Beschäftigung mit (Umwelt-)Epigenetik habe ich im 5. Kapitel argumentiert, dass sich im Feld ambivalente Gleichzeitigkeiten zeigen. Auf der Basis meines diffraktiven Lesens kann ich die ambivalente Gleichzeitigkeit in der Umweltepigenetik nun spezifizieren: Die umweltepigenetischen Arbeiten werden aufgrund dieser Ambivalenz, die mit der Mittlerinnenposition der Epigenetik hervorsticht, als NaturKulturen und Intra-aktionen konzeptualisierbar.

Barad etabliert mit Intra-aktionen ein anderes Verständnis von Kausalität, die sie auch als »ghostly causality« (Barad 2014: 179) bezeichnet.⁴ Da in den drei Studien anhand der vermittelnden Begriffe (»transmitted« und »mediate«) oder der RNA ebenfalls eine Vorstellung von Kausalität angelegt ist, nach der nicht von festen

4 Es ist gut vorstellbar, dass ein Durch-einander-hindurch-Lesen von Barads »ghostly causality«, umweltepigenetischen Studien, in denen die Geister von Vorfahr_innen spuken, Subramaniams *Ghost Stories for Darwin* (Subramaniam 2014) oder Schraders Bezügen zu Derridas Geistern (vgl. Schrader 2010) weitere Anordnungen und Figurationen hervorbringen können. Das kann in dieser Arbeit jedoch nicht mehr unternommen werden.

Entitäten mit bestimmten Eigenschaften auszugehen ist, wird es möglich, Umweltepigenetik als Intra-aktion zu erzählen. Das Besondere der Umweltepigenetik mit ihrem Interesse am Zusammenspiel von Genen/Umwelten, Körperinnerem/Körperäußerem oder Vergangenem/Gegenwärtigem/Zukünftigem ist nicht bloß als Erforschung von Interaktionen zu bezeichnen. Vielmehr drücken die umwelt-epigenetischen Studien und die darin beschriebenen epigenetischen Prozesse aus, dass all diese Phänomene als »spacetime-matterings« erscheinen und verschwinden, da sind und nicht da sind, un/bestimmt bleiben. Damit wird augenscheinlich, welches normendestabilisierende Potenzial im Feld liegt: das Sichtbar-Machen der Verschränktheit und Relationalität von körperinneren Prozessen und Umwelteinflüssen oder verschiedenen Generationen und Spezies sowie nicht/menschlicher »respons_abilities«. Im diffraktiven Lesen werden Perspektiven eröffnet, die nicht von inhärenter Separabilität ausgehen und ermöglichen, anderes zu denken. »*the queer dance of being-time indeterminacy, the imaginative play of presence/absence, here/there, now/then, that holds the disparate things together-apart.*« (Barad 2015b: 407, H.i.O.) In allen drei Figurationen geht es mir darum, die unterschiedlichen Phänomene in ihrer Relationalität zu verstehen. Dann wird es auch möglich, Differenzen nicht als feststehend zu begreifen, nicht als nur auf wenige Entitäten beschränkt und hierarchisch. Einem feministisch-materialistischen Relationalitätsbegriff folgend, gehört auch zusammen (und ist zugleich getrennt), was sonst oftmals als separat, konträr oder einander ausschließend verstanden wird. Das bedeutet, dass überlappt und un/trennbar zusammenhängt, was als sich ausschließend gilt. Das Aufzeigen der Wechselwirkungen und Verschränkungen bietet die Basis, um Differenzen nicht mehr als gegeben oder unveränderlich voraussetzen zu können und Ungleichheiten, die damit legitimiert werden, aufzuheben.

Umweltepigenetik als materiell-diskursives Feld, das durch Intra-aktionen (re-)konfiguriert wird, ist somit für Auseinandersetzungen mit Differenzen produktiv, wie sie in der Geschlechterforschung, feministischer Wissenschaftsforschung und feministisch-materialistischen Theorien zu finden sind. Umwelt-epigenetische Studien bieten die Möglichkeit, die Durchlässigkeit von Körpern und Differenzen sowie Welt-Werden als naturkulturelle Verschränkungen wahrzunehmen. In der Auseinandersetzung resonieren Umweltepigenetik und Barads agentieller Realismus und so bietet das diffraktive Lesen eine passende Methodologie zur interdisziplinären Beschäftigung mit Differenzen. Ich plädiere dafür, »Diffraction als neues kritisches Bewusstsein« (Thiele 2020: 49) und als Methode zu etablieren, die es ermöglicht, Differenzen zu erkennen, die einen Unterschied bewirken, und andere Anordnungen ausfindig zu machen, um weitverbreitete Figurationen zu identifizieren und anders weiter zu erzählen.

Die Entwicklung und Rezeption naturwissenschaftlicher Felder wie der Epigenetik bedürfen unbedingt feministischer, wissenschaftstheoretischer und -soziologischer Begleitungen und Beobachtungen. Gerade wegen ihrer Öffnungen hin

zur körperäußeren Umwelt gilt es, Chancen und Gefahren abzuwiegen, die von Studien aus diesem Bereich ausgehen. Denn biowissenschaftliche Erklärungen beziehen sich vermehrt auf Fragen, die sozialwissenschaftliche Expertisen betreffen. Nach Lemke führen »Genese, Zirkulation und Anwendung biowissenschaftlichen Wissens und biotechnologischer Innovationen zu einer Neukonfiguration gesellschaftlicher Verhältnisse« (Lemke 2013: 15). Die vorliegende Arbeit bietet eine ausführliche Betrachtung umweltepigenetischer Studien. Da sie sich nicht auf eine wissenschaftskritische Analyse beschränkt, sondern ein Verfahren für ein diffraktives Lesen entwickelt, hat sie zudem ausgelotet, welche »Neukonfigurationen« (ebd.) in umweltepigenetischen Studien angelegt sind und welche neuen Perspektiven auf onto-epistemologische Differenzsetzungen eröffnet werden können. Die auf diesem Fundament basierenden neuen Figurationen, die ich hier erzählt habe, antworten auf die Neukonfigurationen in der Umweltepigenetik. Dem Feld mit seinen Figurationen offen zu begegnen, ist folgenreich, denn Wissenschaften bringen etwas in die Welt und was dadurch verändert wird, muss verantwortlich behandelt werden. Das trifft zugleich eine wissenschaftliche und auch eine umfassendere gesellschaftliche Ebene – beides ist nicht zu trennen. Thiele argumentiert, dass »das Verbinden von Figuration und Kritik von so großer Bedeutung für feministische Auseinandersetzungen ist, um in sozio-politische Praxis zu intervenieren und andere *wor(l)ding*-Praktiken zu (er-)finden.« (Thiele 2020: 47, H.i.O.) Mit Thiele möchte ich ein Kritikverständnis stark machen, das Distanz übt zu einer bewertenden und problematisierenden Perspektive, die anthropozentrisch bleibt, und Textanalysen mit der diffraktiven Methodologie als Möglichkeiten bestärken, eigene und andere Fähigkeiten zu antworten ins Zentrum der Aufmerksamkeit zu rücken. Meine Textanalysen antworten auf die Anordnungen und Neukonfigurationen in der Umweltepigenetik und bieten eine Vorlage für ein interdisziplinäres methodologisches Vorgehen, in dem Differenzsetzungen zwischen Disziplinen, gesellschaftlichen Sphären, Generationen, Spezies und vielem mehr als verschränkt und un/bestimmbar zu erkennen sind.

An anderer Stelle muss den vorgeschlagenen sowie weiteren möglichen Figurationen nachgegangen werden, die sich aus meinem diffraktiven Lesen umweltepigenetischer Studien ergeben. Weiter zu verfolgen wäre auch, wie die Geschichten von Gen/Umwelt-Intra-aktionen noch anders erzählt werden können, und was sich ergibt, wenn ebenfalls Pflanzenstudien berücksichtigt werden. Ich möchte anregen, die offenen Anknüpfungspunkte und Ideen an anderer Stelle aufzugreifen: Zu erproben bleibt beispielsweise, welche Anordnungen sich entfalten, wenn die Arbeiten von Waddington, in denen er Bezug zu Quantenphysik und Philosophie herstellt (vgl. Waddington 1968), in ein diffraktives Lesen aufgenommen würden, und die von Haraway, die sich in ihrer Dissertationsschrift wiederum mit Waddingtons Entwicklungsbiologie und Embryologie auseinandersetzt (vgl. Haraway 1976). Welche Diffraktionsmuster ergeben sich, wenn systematisch Texte des Evo-

lutionsbiologen Gilbert, der unter anderem bei Haraway studierte, das Vorwort für die Neuauflage ihrer Dissertation schrieb (vgl. Haraway 2004) und über Epigenetik publiziert (vgl. z.B. Gilbert 1991, 2012, 2014), mit umweltepigenetischen Studien und anderen Theorien oder Genres überlagert werden? Welche Verschränkungen würden sichtbar, wenn die feministischen Auseinandersetzungen mit Mutter- und Elternschaft mit meiner Figuration der Mütter als Verschränkungen (9.1) hindurch gelesen würde und inwiefern resonieren ›Mütter‹ mit (weiteren) Theorien des Neuen Materialismus? Bei einem Projekt wie dem vorliegenden entstehen immer neue Verbindungen und Schnittstellen, zugleich werden Schnitte erlassen. Ich gehe davon aus, dass sich auch andere diffraktive Apparate anbieten, um weiter durch einander hindurch zu lesen und zu schreiben.

Literaturverzeichnis

- Ahmed, Sara (2008): Open Forum Imaginary Prohibitions: Some Preliminary Remarks on the Founding Gestures of the »New Materialism«. In: *European Journal of Women's Studies* 15/1, 23-39. <https://doi.org/10.1177/1350506807084854>
- Alyamani, Reema Abdulrahman S./Murgatroyd, Chris (2018): Epigenetic Programming by Early-Life Stress. In: Grayson, Dennis R. (Hg.), *Progress in Molecular Biology and Translational Science. Epigenetics and Psychiatric Disease*. Vol. 157, 133-150. <https://doi.org/10.1016/bs.pmbts.2018.01.004>
- Atlasi, Yaser/Stunnenberg, Hendrik G. (2017): The interplay of epigenetic marks during stem cell differentiation and development. In: *Nature Reviews Genetics* 18/11, 643-658. <https://doi.org/10.1038/nrg.2017.57>
- Baedke, Jan (2013): The epigenetic landscape in the course of time: Conrad Hal Waddington's methodological impact on the life sciences. In: *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 44/4, Part B, 756-773. <https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2013.06.001>
- Bajrami, Emirjeta/Spiroski, Mirko (2016): Genomic Imprinting. In: *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences* 4/1, 181-184. <https://doi.org/10.3889/oamjms.2016.028>
- Barad, Karen (1996): Meeting the Universe Halfway. Realism and Social Constructivism without Contradiction. In: Hankinson Nelson, Lynn, Nelson, Jack (Hg.), *Feminism, Science, and Philosophy of Science*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 161-194. https://doi.org/10.1007/978-94-009-1742-2_9
- Barad, Karen (1998): Getting Real: Technoscientific Practices and the Materialization of Reality. In: *Differences: A Journal of Feminist Cultural Studies* 10.2, 87-128. <https://doi.org/10.1215/10407391-10-2-87>
- Barad, Karen (2000): Reconceiving Scientific Literacy as Agential Literacy. Or, Learning how to Intra-act Responsibly within the World. In: Reid, Roddey, Traweek, Sharon (Hg.), *Doing Science + Culture*. New York, London: Routledge, 221-258.
- Barad, Karen (2001): Performing Culture/Performing Nature. Using the Piezoelectric Crystal of Ultrasound Technologies as a Transducer Between Science Stud-

- ies and Queer Theories. In: Lammer, Christina (Hg.), *Digital Anatomy*. Wien: Turia und Kant, 98-114.
- Barad, Karen (2003): Posthumanist Performativity: Towards an Understanding of How Matter Comes to Matter. In: *Signs – Journal of Women in Culture and Society* 28/3, 801-831. <https://doi.org/10.1086/345321>
- Barad, Karen (2007): *Meeting the Universe Halfway. Quantum Physics and the Entanglement of Matter and Meaning*. Durham: Duke University Press Books. <https://doi.org/10.2307/j.ctv12101Zq>
- Barad, Karen (2010): Quantum Entanglements and the Hauntological Relations of Inheritance: Dis/continuities, SpaceTime Enfoldings, and Justice-to-Come. In: *Derrida Today* 3/2, 240-268. <https://doi.org/10.3366/drt.2010.0206>
- Barad, Karen (2011): Erasers and erasures: Pinch's unfortunate ›uncertainty principle‹. In: *Social Studies of Science* 41/3, 443-454. <https://doi.org/10.1177/0306312711406317>
- Barad, Karen (2012a): Nature's Queer Performativity*. In: *Kvinder, Køn & Forskning* 12, 25-53. <https://doi.org/10.7146/kkf.voi1-2.28067>
- Barad, Karen (2012b): What Is the Measure of Nothingness? Infinity, Virtuality, Justice/Was ist das Maß des Nichts? Unendlichkeit, Virtualität, Gerechtigkeit. *dOCUMENTA: 100 Notizen – 100 Gedanken*Berlin: Hatje Cantz.
- Barad, Karen (2014): Diffracting Diffraction: Cutting Together-Apart. In: *Parallax* 20/3, 168-187. <https://doi.org/10.1080/13534645.2014.927623>
- Barad, Karen (2015a): Dem Universum auf halbem Weg begegnen. Realismus und Sozialkonstruktivismus ohne Widerspruch. *Verschränkungen*. Berlin: Merve, 7-70.
- Barad, Karen (2015b): On Touching – The Inhuman That Therefore I Am (v1.1). In: Witzgall, Susanne, Stakemeier, Kerstin (Hg.), *Power of Material – Politics of Materiality*. Zürich: diaphanes, 153-164.
- Barad, Karen (2015c): Transmaterialities: Trans*/Matter/Realities and Queer Political Imaginings. In: *GLQ: A Journal of Lesbian and Gay Studies* 21/2, 387-422. <https://doi.org/10.1215/10642684-2843239>
- Barad, Karen (2017): No Small Matter. Mushroom Clouds, Ecologies of Nothingness, and Strange Topologies of Spacetime-mattering. In: Tsing, Anna, Swanson, Heather Anne, Gan, Elaine, Bubandt, Nils (Hg.), *Arts of Living on a Damaged Planet. Ghosts and Monsters of the Anthropocene*. Minneapolis, London: University of Minnesota Press, G103-G120.
- Barad, Karen (2018): Troubling Time/s and Ecologies of Nothingness: Re-turning, Re-membling, and Facing the Incalculable. In: Fritsch, Matthias, Lynes, Philippe, Wood, David (Hg.), *Eco-Deconstruction. Derrida and Environmental Philosophy*. New York: Fordham University Press, 206-248. <https://doi.org/10.2307/j.ctt201mp8w.13>

- Bath, Corinna/Meißner, Hanna/Trinkaus, Stephan/Völker, Susanne (2013): Einleitung. In: Bath, Corinna, Meißner, Hanna, Völker, Susanne, Trinkaus, Stephan (Hg.), *Geschlechter Interferenzen. Wissensformen – Subjektivierungsweisen – Materialisierungen*. Berlin, Münster: Lit, 7-25.
- Bath, Corinna/Meißner, Hannah/Trinkaus, Stephan/Völker, Susanne (2017): Verantwortung und Un/Verfügbarkeit. Impulse und Zugänge eines (neo)materialistischen Feminismus. Einleitung. In: Bath, Corinna, Meißner, Hannah, Trinkaus, Stephan, Völker, Susanne (Hg.), *Verantwortung und Un/Verfügbarkeit. Impulse und Zugänge eines (neo)materialistischen Feminismus*. Münster: Westfälisches Dampfboot, 7-21.
- Bauer, Robin (2006): Grundlagen der Wissenschaftstheorie und Wissenschaftsforschung. In: Ebeling, Smilla, Schmitz, Sigrid (Hg.), *Geschlechterforschung und Naturwissenschaften. Einführung in ein Komplexes Wechselspiel*. Wiesbaden: VS, 247-280. https://doi.org/10.1007/978-3-531-90091-9_12
- Benbow, Sarah J./Strovas, Timothy J./Darvas, Martin/Saxton, Aleen/Kraemer, Brian C. (2020): Synergistic toxicity between tau and amyloid drives neuronal dysfunction and neurodegeneration in transgenic *C. elegans*. In: *Human Molecular Genetics* 29/3, 495-505. <https://doi.org/10.1093/hmg/ddz319>
- Bergstrom, David E. (2001): Haplotype. In: Brenner, Sydney, Miller, Jefferey H. (Hg.), *Encyclopedia of Genetics*. New York: Academic Press, 911-912. <https://doi.org/10.1006/rwgn.2001.0584>
- Bernal, Autumn J./Murphy, Susan K./Jirtle, Randy L. (2011): Mouse Models of Epigenetic Inheritance. In: Tollefsbol, Trygve (Hg.), *Handbook of Epigenetics*. San Diego: Academic Press, 233-249. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375709-8.00015-0>
- Birke, Lynda (2003): *Shaping Biology. Feminism and the Ideas of the Biological*. In: Williams, Simon J. (Hg.), *Debating Biology. Sociological Reflections on Health, Medicine and Society*. London, New York: Routledge, 39-52.
- Biterge-Süt, Burcu (2018): Epigenetic regulation mechanisms in stem cell differentiation. In: *MOJ Cell Science & Report* 5/2, 52-54. <https://doi.org/10.15406/mojcsr.2018.05.00114>
- Block, Tomasz/El-Osta, Assam (2017): Epigenetic programming, early life nutrition and the risk of metabolic disease. In: *Atherosclerosis* 266, 31-40. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2017.09.003>
- Bock, Christoph (2014): Ein integrierter Ansatz zur Beschreibung und Analyse genetisch-epigenetischer Zellzustände. In: Lux, Vanessa, Richter, Jörg Thomas (Hg.), *Kulturen der Epigenetik: Vererbt, codiert, übertragen*. Berlin, Boston: De Gruyter, 135-150. <https://doi.org/10.1515/9783110316032.135>
- Bodnoff, S.R./Suranyi-Cadotte, B./Aitken, D.H./Quirion, R./Meaney, M.J. (1988): The effects of chronic antidepressant treatment in an animal model of anxiety. In: *Psychopharmacology* 95/3, 298-302. <https://doi.org/10.1007/BF00181937>

- Bourdieu, Pierre (2005): Die männliche Herrschaft. Frankfurt: Suhrkamp.
- Braidotti, Rosi (2014): Posthumanismus: Leben jenseits des Menschen. Frankfurt, New York: Campus.
- Braidotti, Rosi (2016): Jenseits des Menschen: Posthumanismus. Bundeszentrale für politische Bildung. <https://www.bpb.de/apuz/233470/jenseits-des-menschen-en-posthumanismus> [letzter Zugriff 17.08.2021].
- Bygren, Lars O./Tinghög, Petter/Carstensen, John/Edvinsson, Sören/Kaati, Gunnar/Pembrey, Marcus E./Sjöström, Michael (2014): Change in paternal grandmothers' early food supply influenced cardiovascular mortality of the female grandchildren. In: BMC Genetics 15/1, 12. <https://doi.org/10.1186/1471-2156-15-12>
- Casamadrid, V.R.E./Amaya, C.A./Mendieta, Z.H. (2016): Body mass index in pregnancy does not affect peroxisome proliferator-activated receptor gamma promoter region (–359 to –260) methylation in the neonate. In: Annals of Medical and Health Sciences Research 6/1, 38–43.
- Chen, Chun-An/Pal, Rituraj/Yin, Jiani/Tao, Huifang/Amawi, Abdallah/Sabo, Aniko/Bainbridge, Matthew N./Gibbs, Richard A./Zoghbi, Huda Y./Schaaf, Christian P. (2020): Combination of whole exome sequencing and animal modeling identifies *TMPRSS9* as a candidate gene for autism spectrum disorder. In: Human Molecular Genetics 29/3, 459–470. <https://doi.org/10.1093/hmg/ddz305>
- Chiu, Lynn/Gilbert, Scott F. (2020): Niche construction and the transition to herbivory: Phenotype switching and the organization of new nutritional modes. In: Levine, Herbert, Jolly, Mohit Kumar, Kulkarni, Prakash, Nanjundiah, Vidyanand (Hg.), Phenotypic Switching. Academic Press, 459–482. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817996-3.00015-3>
- Coole, Diane (2014): Der neue Materialismus. Die Ontologie und Politik der Materialisierung. In: Witzgall, Susanne, Stakemeier, Kerstin (Hg.), Macht des Materials, Politik der Materialität. Zürich: Diaphanes, 29–46.
- Cregan, Kate (2006): The Sociology of the Body: Mapping the Abstraction of Embodiment. London: SAGE. <https://doi.org/10.4135/9781446214978>
- Curley, James P./Mashood, Rahia/Champagne, Frances A. (2011): Transgenerational Epigenetics. In: Tollefsbol, Trygve O. (Hg.), Handbook of Epigenetics. The New Molecular and Medical Genetics. London, Burlington, San Diego: Elsevier, 391–403. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375709-8.00024-1>
- da Silva, Denise Ferreira (2016): On Difference Without Separability. In: Volz, Jochen, Rebouças, Júlia (Hg.), 32nd Bienal de São Paulo – Incerteza Viva. Catalogue. São Paulo: Fundação Bienal de São Paulo, 57–65.
- Dashorst, Patricia/Mooren, Trudy M./Kleber, Rolf J./de Jong, Peter J./Huntjens, Rafael J.C. (2019): Intergenerational consequences of the Holocaust on offspring mental health: a systematic review of associated factors and mecha-

- nisms. In: *European Journal of Psychotraumatology* 10/1, 1-29. <https://doi.org/10.1080/20008198.2019.1654065>
- Daston, Lorraine/Galison, Peter (2007): *Objektivität*. Frankfurt: Suhrkamp.
- Davis, Noela (2014): *Politics Materialized: Rethinking the Materiality of Feminist Political Action through Epigenetics*. In: *Women: A Cultural Review* 25/1, 62-77.
- Ebeling, Kirsten Smilla/Schmitz, Sigrid (Hg.) (2006): *Geschlechterforschung und Naturwissenschaften: Einführung in ein komplexes Wechselspiel*. Wiesbaden: VS. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-90091-9>
- Ebeling, Smilla/Jäckel, Jennifer/Meßmer, Ruth/Nikoleyczik, Katrin/Schmitz, Sigrid (2006): *Methodenauswahl der geschlechterperspektivischen Naturwissenschaftsanalyse*. In: Ebeling, Smilla, Schmitz, Sigrid (Hg.), *Geschlechterforschung und Naturwissenschaften. Einführung in ein Komplexes Wechselspiel*. Wiesbaden: VS, 297-330. https://doi.org/10.1007/978-3-531-90091-9_14
- Engel, Antke (2002): *Wider die Eindeutigkeit. Sexualität und Geschlecht im Fokus queerer Politik der Repräsentation*. Frankfurt: Campus.
- Ernst, Carl/McGowan, Patrick O./Deleva, Vesselina/Meaney, Michael J./Szyf, Moshe/Turecki, Gustavo (2008): *The effects of pH on DNA methylation state: In vitro and post-mortem brain studies*. In: *Journal of Neuroscience Methods* 174/1, 123-125. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2008.06.027>
- Fausto-Sterling, Anne (2003): *The Problem with Sex/Gender and Nature/Nurture*. In: Williams, Simon J. (Hg.), *Debating Biology. Sociological Reflections on Health, Medicine and Society*. London, New York: Routledge, 123-132.
- Fausto-Sterling, Anne (2005): *The Bare Bones of Sex. Part I Sex&Gender*. In: *Signs* 30/2, 1491-1528. <https://doi.org/10.1086/424932>
- Ferguson-Smith, Anne C. (2011): *Genomic imprinting: the emergence of an epigenetic paradigm*. In: *Nature Reviews Genetics* 12/8, 565-575. <https://doi.org/10.1038/nrg3032>
- Filipowicz, Witold/Paszkowski, Jerzy (2013): *Gene Silencing*. In: Maloy, Stanley, Hughes, Kelly (Hg.), *Brenner's Encyclopedia of Genetics*. San Diego: Academic Press, 221-222.
- Gaeini, Abbas Ali/Neek, Leila Shafiei/Choobineh, Siroos/Eslaminejad, Mohammadreza Baghaban/Satarifard, Sadegh/Sayahpour, Forough Azam/Mousavi, Seyedeh Neda (2016): *Preconception endurance training with voluntary exercise during pregnancy positively influences on remodeling markers in female offspring bone*. In: *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine* 29/22, 3634-3640. <https://doi.org/10.3109/14767058.2016.1140140>
- Gao, Mingming/Liu, Lin/Wang, Xiaowei/Mak, Hoi Yin/Liu, George/Yang, Hongyuan (2020): *GPAT3 deficiency alleviates insulin resistance and hepatic steatosis in a mouse model of severe congenital generalized lipodystrophy*. In: *Human Molecular Genetics* 29/3, 432-443. <https://doi.org/10.1093/hmg/ddz300>

- Gapp, Katharina/Jawaid, Ali/Sarkies, Peter/Bohacek, Johannes/Pelczar, Pawel/ Prados, Julien/Farinelli, Laurent/Miska, Eric/Mansuy, Isabelle M. (2014): Implication of sperm RNAs in transgenerational inheritance of the effects of early trauma in mice. In: *Nature Neuroscience* 17/5, 667-669. <https://doi.org/10.1038/nn.3695>
- Gilbert, Scott F. (1991): Epigenetic landscaping: Waddington's use of cell fate bifurcation diagrams. In: *Biology and Philosophy* 6/2, 135-154. <https://doi.org/10.1007/BF02426835>
- Gilbert, Scott F. (2012): Ecological developmental biology: environmental signals for normal animal development. In: *Evolution & Development* 14/1, 20-28. <https://doi.org/10.1111/j.1525-142X.2011.00519.x>
- Gilbert, Scott F. (2014): A holobiont birth narrative: the epigenetic transmission of the human microbiome. In: *Frontiers in Genetics* 5, 1-7. <https://doi.org/10.3389/fgene.2014.00282>
- Gluckman, Peter D./Cutfield, Wayne/Hofman, Paul/Hanson, Mark A. (2005): The fetal, neonatal, and infant environments – the long-term consequences for disease risk. In: *Early Human Development* 81/1, 51-59. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2004.10.003>
- Gluckman, Peter D./Hanson, Mark A./Beedle, Alan S. (2007a): Early life events and their consequences for later disease: A life history and evolutionary perspective. In: *American Journal of Human Biology* 19/1, 1-19. <https://doi.org/10.1002/ajhb.20590>
- Gluckman, Peter D./Hanson, Mark A./Beedle, Alan S. (2007b): Non-genomic transgenerational inheritance of disease risk. In: *BioEssays* 29/2, 145-154. <https://doi.org/10.1002/bies.20522>
- Gluckman, Peter D./Hanson, Mark A./Low, Felicia M. (2011): The role of developmental plasticity and epigenetics in human health. In: *Birth Defects Research. Part C, Embryo Today: Reviews* 93/1, 12-18. <https://doi.org/10.1002/bdrc.20198>
- Godfrey, Keith M./Lillicrop, Karen A./Burdge, Graham C./Gluckman, Peter D./Hanson, Mark A. (2013): Non-imprinted epigenetics in fetal and postnatal development and growth. In: *Nestle Nutrition Institute Workshop Series* 71, 57-63. <https://doi.org/10.1159/000342552>
- Goldman, Michael (2001): CpG Islands. In: Brenner, Sydney, Miller, Jefferey H. (Hg.), *Encyclopedia of Genetics*. New York: Academic Press, 477. <https://doi.org/10.1006/rwgn.2001.0286>
- Gramlich, Naomie (2020): Feministisches Spekulieren. Einigen Pfaden folgen. In: Angerer, Marie-Luise, Gramlich, Naomie (Hg.), *Feministisches Spekulieren. Genealogien, Narrationen, Zeitlichkeiten*. Berlin: Kulturverlag Kadmos, 9-29.
- Gray, Michael W. (2013): Mitochondria. In: Maloy, Stanley, Hughes, Kelly (Hg.), *Brenner's Encyclopedia of Genetics*. San Diego: Academic Press, 430-432. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374984-0.00957-8>

- Greco, Emanuela A./Lenzi, Andrea/Migliaccio, Silvia/Gessani, Sandra (2019): Epigenetic Modifications Induced by Nutrients in Early Life Phases: Gender Differences in Metabolic Alteration in Adulthood. In: *Frontiers in Genetics* 10, 1-8. <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.00795>
- Gregor, Joris A./Schmitz, Sigrid/Wuttig, Bettina/Rosenzweig, Beate (2018): Der Ort des Politischen in den Critical Feminist Materialisms. In: *FZG – Freiburger Zeitschrift für GeschlechterStudien* 24/1, 5-11. <https://doi.org/10.3224/fzg.v24i1.01>
- Hammond, LaTisha M./Hofmann, Gretchen E. (2012): Early developmental gene regulation in *Strongylocentrotus purpuratus* embryos in response to elevated CO₂ seawater conditions. In: *Journal of Experimental Biology* 215/14, 2445-2454. <https://doi.org/10.1242/jeb.058008>
- Hamoudi, Dounia/Bouredji, Zineb/Marcadet, Laetitia/Yagita, Hideo/Landry, Louis-Bénédict/Argaw, Anteneh/Frenette, Jérôme (2020): Muscle weakness and selective muscle atrophy in osteoprotegerin-deficient mice. In: *Human Molecular Genetics* 29/3, 483-494. <https://doi.org/10.1093/hmg/ddz312>
- Hanson, Mark A./Gluckman, Peter D. (2005): Developmental processes and the induction of cardiovascular function: conceptual aspects. In: *The Journal of Physiology* 565/1, 27-34. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2004.082339>
- Haraway, Donna Jeanne (1976): *Crystals, Fabrics, and Fields. Metaphors of Organicism in Twentieth-Century Developmental Biology*. New Haven, London: Yale University Press.
- Haraway, Donna Jeanne (1995a): Ein Manifest für Cyborgs. Feminismus im Streit mit den Technowissenschaften. In: Hammer, Carmen, Stieß, Immanuel (Hg.), *Die Neuerfindung der Natur. Primaten, Cyborgs und Frauen*. Frankfurt, New York: Campus, 33-72.
- Haraway, Donna Jeanne (1995b): Genfetischismus. In: Haraway, Donna Jeanne (Hg.), *Monströse Versprechen. Die Gender- und Technologie-Essays*. Hamburg: Argument, 184-202.
- Haraway, Donna Jeanne (1995c): Primatologie mit anderen Mitteln. In: Orland, Barbara, Scheich, Elvira (Hg.), *Das Geschlecht der Natur: feministische Beiträge zur Geschichte und Theorie der Naturwissenschaften*. Frankfurt: Suhrkamp, 136-198.
- Haraway, Donna Jeanne (1995d): Situiertes Wissen. Die Wissenschaftsfrage im Feminismus und das Privileg einer partialen Perspektive. In: Hammer, Carmen, Stieß, Immanuel (Hg.), *Die Neuerfindung der Natur. Primaten, Cyborgs und Frauen*. Frankfurt, New York: Campus, 73-97.
- Haraway, Donna Jeanne (1997): *FemaleMan@_Meets_OncoMouseTM*. Mice into Wormholes: A Technoscience Fugue in Two Parts. In: Haraway, Donna Jeanne (Hg.), *Modest_Witness@Second_Millennium*. *FemaleMan@_Meets_OncoMouseTM*. New York, London: Routledge, 49-118.

- Haraway, Donna Jeanne (2003): *The Companion Species Manifesto*. Chicago: Prickly Paradigm Press.
- Haraway, Donna Jeanne (2004): *Crystals, fabrics, and fields. Metaphors That Shape Embryos*. Berkeley: North Atlantic Books.
- Haraway, Donna Jeanne (2012): *Awash in Urine: DES and Premarin® in Multispecies Response-ability*. In: *Women's Studies Quarterly* 40/1/2, 301-316. <https://doi.org/10.1353/wsq.2012.0005>
- Haraway, Donna Jeanne (2016): *Manifestly Haraway*. Minneapolis: University of Minnesota Press. <https://doi.org/10.5749/minnesota/9780816650477.001.0001>
- Haraway, Donna Jeanne (2017): *Monströse Versprechen. Eine Erneuerungspolitik für un/an/geeignete Andere*. In: Haraway, Donna Jeanne (Hg.), *Monströse Versprechen. Die Gender- und Technologie-Essays*. Hamburg: Argument, 35-123.
- Haraway, Donna Jeanne (2018a): *Fadenspiele mit Art-GenossInnen*. In: Haraway, Donna Jeanne (Hg.), *Unruhig bleiben. Die Verwandtschaften der Arten im Chthuluzän*. Frankfurt; New York: Campus, 19-45.
- Haraway, Donna Jeanne (2018b): *Symptosis. Symbiogenese und die dynamischen Künste, beunruhigt zu bleiben*. In: Haraway, Donna Jeanne (Hg.), *Unruhig bleiben. Die Verwandtschaften der Arten im Chthuluzän*. Frankfurt, New York: Campus, 85-135.
- Haraway, Donna Jeanne (2018c): *Tentakulär denken. Anthropozän, Kapitalozän, Chthuluzän*. In: Haraway, Donna Jeanne (Hg.), *Unruhig bleiben. Die Verwandtschaft der Arten im Chthuluzän*. Frankfurt, New York: Campus, 47-83.
- Haraway, Donna Jeanne (2018d): *Einleitung*. In: Haraway, Donna Jeanne (Hg.), *Unruhig bleiben. Die Verwandtschaft der Arten im Chthuluzän*. Frankfurt, New York: Campus, 9-18.
- Harding, Sandra (1991): *Feministische Wissenschaftstheorie. Zum Verhältnis von Wissenschaft und sozialem Geschlecht*. 2. Aufl. Hamburg: Argument. <https://doi.org/10.5840/philosophin1991248>
- Hark, Sabine (1999): *Deviante Subjekte. Die paradoxe Politik der Identität*. 2. Aufl. Opladen: Leske + Budrich. <https://doi.org/10.1007/978-3-663-09665-8>
- Hatfield, Gary (2018): *René Descartes*. In: Zalta, Edward N. (Hg.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Metaphysics Research Lab, Stanford University.
- Hedlund, Maria (2012): *Epigenetic Responsibility*. In: *Medicine Studies* 3/2, 171-183. <https://doi.org/10.1007/s12376-011-0072-6>
- Heil, Reinhard/Seitz, Stefanie B./König, Harald/Robiński, Jürgen (Hg.) (2016): *Epigenetik. Ethische, rechtliche und soziale Aspekte*. Wiesbaden: Springer Fachmedien. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-10037-7>
- Hoppe, Katharina/Lemke, Thomas (2021): *Neue Materialismen zur Einführung*. Hamburg: Junius.

- Jablonka, Eva/Lamb, Marion (1998): Epigenetic inheritance in evolution. In: *Journal of Evolutionary Biology* 11/2, 159-183. <https://doi.org/10.1046/j.1420-9101.1998.11020159.x>
- Jablonka, Eva/Raz, Gal (2009): Transgenerational Epigenetic Inheritance: Prevalence, Mechanisms, and Implications for the Study of Heredity and Evolution. In: *The Quarterly Review of Biology* 84/2, 131-176. <https://doi.org/10.1086/598822>
- Jagomäe, Toomas/Singh, Katyayani/Philips, Mari-Anne/Jayaram, Mohan/Seppa, Kadri/Tekko, Triin/Gilbert, Scott F./Vasar, Eero/Lilleväli, Kersti (2021): Alternative Promoter Use Governs the Expression of IgLON Cell Adhesion Molecules in Histogenetic Fields of the Embryonic Mouse Brain. In: *International Journal of Molecular Sciences* 22/13, 6955. <https://doi.org/10.3390/ijms22136955>
- Kaati, Gunnar/Bygren, Lars Olov/Edvinsson, Sören (2002): Cardiovascular and diabetes mortality determined by nutrition during parents' and grandparents' slow growth period. In: *European Journal of Human Genetics: EJHG* 10/11, 682-688. <https://doi.org/10.1038/sj.ejhg.5200859>
- Kaati, Gunnar/Bygren, Lars Olov/Pembrey, Marcus/Sjöström, Michael (2007): Transgenerational response to nutrition, early life circumstances and longevity. In: *European Journal of Human Genetics: EJHG* 15/7, 784-790. <https://doi.org/10.1038/sj.ejhg.5201832>
- Kaiser, Anelis (2013): Zum (An)Erkennen von Gleichheit und Differenz in Geschlechterforschung und Neurowissenschaft. Ein kritischer Vergleich. In: Grisard, Dominique, Jäger, Ulle, König, Tomke (Hg.), *Verschieden sein: Nachdenken über Geschlecht und Differenz*. Sulzbach: Helmer, 147-157.
- Kaiser, Anelis/Haller, Sven/Schmitz, Sigrid/Nitsch, Cordula (2009): On sex/gender related similarities and differences in fMRI language research. In: *Brain Research Reviews* 61/2, 49-59. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2009.03.005>
- Kaiser, Anelis/Schmitz, Sigrid (2016): Neuroscience, Brain Research, and Sexuality. *The Wiley Blackwell Encyclopedia of Gender and Sexuality Studies*. American Cancer Society, 1-7. <https://doi.org/10.1002/9781118663219.wbegss233>
- Kalender, Ute (2015): Umweltkonzepte in der Epigenetik. In: Compagna, Diego (Hg.), *Leben zwischen Natur und Kultur. Zur Neuaushandlung von Natur und Kultur in den Technik- und Lebenswissenschaften*. Bielefeld: transcript, 251-267. <https://doi.org/10.14361/9783839420096-010>
- Keil, Geert (2017): *Willensfreiheit*. 3. Aufl. Berlin, Boston: De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110534511>
- Keller, Evelyn Fox (1996): Der Organismus: Verschwinden, Wiederentdeckung und Transformation einer biologischen Kategorie. In: Scheich, Elvira (Hg.), *Vermittelte Weiblichkeit. Feministische Wissenschafts- und Gesellschaftstheorie*. Hamburg: Hamburger Edition, 313-334.

- Kenney, Martha (2019): Fables of Response-ability: Feminist Science Studies as Didactic Literature. In: *Catalyst: Feminism, Theory, Technoscience* 5/1, 1-39. <http://doi.org/10.28968/cftt.v5i1.29582>
- Kenney, Martha/Müller, Ruth (2017): Of rats and women: Narratives of motherhood in environmental epigenetics. In: *BioSocieties* 12/1, 23-46. <https://doi.org/10.1057/s41292-016-0002-7>
- Kissmann, Ulrike Tikvah/van Loon, Joost (Hg.) (2019): *Discussing New Materialism. Methodological Implications for the Study of Materialities*. Wiesbaden: VS. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-22300-7>
- Kleine, Bernhard/Rossmann, Winfried (2021): *Hormone und Hormonsystem – Lehrbuch der Endokrinologie*. Berlin, Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-58502-3>
- Knorr-Cetina, Karin (1995): Laborstudien. Der kulturosoziologische Ansatz in der Wissenschaftsforschung. *Das Auge der Wissenschaft. Zur Emergenz von Realität*. 101-135.
- Knorr-Cetina, Karin (2002): *Wissenskulturen*. Frankfurt: Suhrkamp.
- Knorr-Cetina, Karin (2016): *Die Fabrikation der Erkenntnis. Zur Anthropologie der Wissenschaft*. 4. erweit. Aufl. Frankfurt: Suhrkamp.
- Krall, Lisa (2017): Un/Verfügbarkeiten in der epigenetischen Forschungspraxis. In: Bath, Corinna, Meißner, Hanna, Trinkaus, Stephan, Völker, Susanne (Hg.), *Verantwortung und Un/Verfügbarkeit. Impulse und Zugänge eines (neo)materialistischen Feminismus*. Münster: Westfälisches Dampfboot, 131-147.
- Krall, Lisa (2018): Natur-Kultur-Verschänkungen und die Materie der Epigenetik. In: *OPEN GENDER JOURNAL* 2, 1-21.
- Krall, Lisa (2020): Agentieller Realismus meets Epigenetik. Versuch eines diffraktiven Lesens. In: *Gender(ed) Thoughts, Working Paper Series* 1, 30-43.
- Krall, Lisa/Schmitz, Sigrid (2016): Potenziale epigenetischer Forschung für das Konzept »sex vs. gender«. In: *GENDER – Zeitschrift für Geschlecht, Kultur und Gesellschaft* 2, 99-116. <https://doi.org/10.3224/gender.v8i2.23736>
- Kronberger, Alisa/Krall, Lisa (2021): Agential realism meets feminist art. A diffractive dialogue between writers, theories and art. In: *Matter: Journal of New Materialist Research* 2/2, 25-49. <https://doi.org/10.1344/jnmr.v2i2.35889>
- Kronholm, Ilkka (2022): Evolution of anticipatory effects mediated by epigenetic changes. 1-27. <https://doi.org/10.1093/eep/dvaco07>
- Kuzawa, Christopher W./Sweet, Elizabeth (2009): Epigenetics and the embodiment of race: Developmental origins of US racial disparities in cardiovascular health. In: *American Journal of Human Biology* 21/1, 2-15. <https://doi.org/10.1002/ajhb.20822>
- Labialle, Stéphane/Marty, Virginie/Bortolin-Cavaillé, Marie-Line/Hoareau-Osman, Magali/Pradère, Jean-Philippe/Valet, Philippe/Martin, Pascal GP/Cavaillé, Jérôme (2014): The miR-379/miR-410 cluster at the imprinted *Dlk1-Dio3* domain

- controls neonatal metabolic adaptation. In: The EMBO Journal 33/19, 2216-2230. <https://doi.org/10.15252/emboj.201387038>
- Landecker, Hannah (2011): Food as exposure: Nutritional epigenetics and the new metabolism. In: Biosocieties 6/2, 167-194. <https://doi.org/10.1057/biosoc.2011.1>
- Latos, Paulina A./Pauler, Florian M./Koerner, Martha V./Şenergin, H. Başak/Hudson, Quannah J./Stocsits, Roman R./Allhoff, Wolfgang/Stricker, Stefan H./Klement, Ruth M./Warczok, Katarzyna E./Aumayr, Karin/Pasierbek, Pawel/Barlow, Denise P. (2012): *Airm* Transcriptional Overlap, But Not Its lncRNA Products, Induces Imprinted *Igf2r* Silencing. In: Science 338/6113, 1469-1472. <https://doi.org/10.1126/science.1228110>
- Latour, Bruno (2002): Die Hoffnung der Pandora. Frankfurt: Suhrkamp.
- Latour, Bruno (2019): Eine neue Soziologie für eine neue Gesellschaft. Einführung in die Akteur-Netzwerk-Theorie. 5. Aufl. Frankfurt: Suhrkamp.
- Latour, Bruno/Woolgar, Steve (1986): Laboratory Life. The Construction of Scientific Facts. 2. Aufl. Princeton: Princeton University Press. <https://doi.org/10.1515/9781400820412>
- Lemke, Thomas (2013): Einleitung: Die Natur in der Soziologie. In: Lemke, Thomas (Hg.), Die Natur in der Soziologie. Gesellschaftliche Voraussetzungen und Folgen biotechnologischen Wissens. Frankfurt, New York: Campus, 7-21.
- Lerner, Richard M./Overton, Willis F. (2017): Reduction to Absurdity: Why Epigenetics Invalidates All Models Involving Genetic Reduction. In: Human Development 60/2-3, 107-123. <https://doi.org/10.1159/000477995>
- Leuzinger-Bohleber, Marianne/Fischmann, Tamara (2014): Transgenerationelle Weitergabe von Trauma und Depression: Psychoanalytische und epigenetische Überlegungen. In: Lux, Vanessa, Richter, Jörg Thomas (Hg.), Kulturen der Epigenetik: Vererbt, codiert, übertragen. Berlin, Boston: De Gruyter, 69-88. <https://doi.org/10.1515/9783110316032.69>
- Lewin, Benjamin (2008): Genes IX. 9. Aufl. Sudbury: Jones and Bartlett.
- Lickliter, Robert/Witherington, David C. (2017): Towards a Truly Developmental Epigenetics. In: Human Development 60/2-3, 124-138. <https://doi.org/10.1159/000477996>
- Lorde, Audre (1984): Alter, Race, Klasse und Gender: Frauen* definieren ihre Unterschiede neu. In: Kelly, Natascha (Hg.), Schwarzer Feminismus. Münster: Unrast, 110-121.
- Louvel, Séverine (2020): What's in a name? The three genealogies of the social in social epigenetics. In: Social Science Information 59 (1), 18-216. <https://doi.org/10.1177/0539018419897001>
- Lux, Vanessa (2014): Ererbtes Trauma. In: Lux, Vanessa, Richter, Jörg Thomas (Hg.), Kulturen der Epigenetik: Vererbt, codiert, übertragen. Berlin, Boston: De Gruyter, 89-106. <https://doi.org/10.1515/9783110316032.89>

- Lux, Vanessa (2015): Transgenerationalität modellieren. In: Lux, Vanessa, Richter, Jörg Thomas (Hg.), *Interjekte 6 Kulturelle Faktoren der Vererbung. Epigenetik – Transgenerationalität – Öffentlichkeit*. Berlin, 18-28.
- Lux, Vanessa/Richter, Jörg Thomas (Hg.) (2012): *Interjekte 3 Kulturelle Faktoren der Vererbung*. Berlin.
- Lux, Vanessa/Richter, Jörg Thomas (Hg.) (2014a): *Kulturen der Epigenetik: Vererbt, codiert, übertragen*. Berlin, Boston: De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110316032>
- Lux, Vanessa/Richter, Jörg Thomas (2014b): Einleitung. In: Lux, Vanessa, Richter, Jörg Thomas (Hg.), *Kulturen der Epigenetik: Vererbt, codiert, übertragen*. Berlin, Boston: De Gruyter, xiii-xxviii. <https://doi.org/10.1515/9783110316032>
- Lux, Vanessa/Richter, Jörg Thomas (Hg.) (2015): *Interjekte 6 Kulturelle Faktoren der Vererbung. Epigenetik – Transgenerationalität – Öffentlichkeit*. Berlin.
- Ly, Lundi/Chan, Donovan/Landry, Mylène/Angle, Camille/Martel, Josée/Trasler, Jacquetta (2020): Impact of mothers' early life exposure to low or high folate on progeny outcome and DNA methylation patterns. In: *Environmental Epigenetics* 6/1, 1-15. <https://doi.org/10.1093/eep/dvaa018>
- Maihofer, Andrea (2001): Geschlechterdifferenz – eine obsoleete Kategorie? In: Uerlings, Herbert, Hölz, Karl, Schmidt-Linsenhoff, Viktoria (Hg.), *Das Subjekt und die Anderen. Interkulturalität und Geschlechterdifferenz vom 18. Jahrhundert bis zur Gegenwart*. Berlin: Schmidt, 55-72.
- Mansfield, Becky/Guthman, Julie (2015): Epigenetic life: biological plasticity, abnormality, and new configurations of race and reproduction. In: *Cultural Geographies* 22/1, 3-20. <https://doi.org/10.1177/1474474014555659>
- Mansuy, Isabelle (2014): Epigenetische Steuerung komplexer Hirnfunktionen und deren Pathologien. In: Lux, Vanessa, Richter, Jörg Thomas (Hg.), *Kulturen der Epigenetik: Vererbt, codiert, übertragen*. Berlin, Boston: De Gruyter, 57-68.
- Marty, Virginie/Labialle, Stéphane/Bortolin-Cavaillé, Marie-Line/Ferreira De Medeiros, Gabriela/Moisan, Marie-Pierre/Florian, Cédric/Cavaillé, Jérôme (2016): Deletion of the miR-379/miR-410 gene cluster at the imprinted Dlk1-Dio3 locus enhances anxiety-related behaviour. In: *Human Molecular Genetics* 25/4, 728-739. <https://doi.org/10.1093/hmg/ddv510>
- Mauss, Bärbel (2004): »Genomic Imprinting« im Kontext der feministischen Auseinandersetzung biologischer Geschlechterentwürfe. In: Schmitz, Sigrid, Schinzel, Britta (Hg.), *Grenzgänge. Genderforschung in Informatik und Naturwissenschaften*. Königstein: Helmer, 149-163.
- Mauthner, Natasha S. (2016): Un/Re-making Method: Knowing/Enacting Posthumanist Performative Social Research Methods through »Diffraction Genealogies« and »Metaphysical Practices«. In: Pitts-Taylor, Victoria (Hg.), *Mattering. Feminism, Science, and Materialism*. New York: New York University Press, 258-283. <https://doi.org/10.18574/nyu/9781479833498.003.0016>

- McGowan, Patrick O./Sasaki, Aya/Huang, Tony C.T./Unterberger, Alexander/Suderman, Matthew/Ernst, Carl/Meaney, Michael J./Turecki, Gustavo/Szyf, Moshe (2008): Promoter-Wide Hypermethylation of the Ribosomal RNA Gene Promoter in the Suicide Brain. In: *PLoS ONE* 3/5, 1-10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002085>
- Meloni, Maurizio (2014): The social brain meets the reactive genome: neuroscience, epigenetics and the new social biology. In: *Frontiers in Human Neuroscience* 8, 1-12. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00309>
- Mendel, Iris (2015): *WiderStandPunkte. Umkämpftes Wissen, feministische Wissenschaftskritik und kritische Sozialwissenschaften*. Münster: Westfälisches Dampfboot.
- Meuser, Michael (2010): Körperdiskurse und Körperpraxen der Geschlechterdifferenz. In: Aulenbacher, Brigitte, Meuser, Michael, Riegraf, Birgit (Hg.), *Soziologische Geschlechterforschung*. Wiesbaden: Springer, 125-140. https://doi.org/10.1007/978-3-531-92045-0_7
- Mitalipov, Shoukhrat/Wolf, Don (2009): Totipotency, Pluripotency and Nuclear Reprogramming. In: Martin, Ulrich (Hg.), *Engineering of Stem Cells*. Berlin, Heidelberg: Springer, 185-199. https://doi.org/10.1007/10_2008_45
- Moore, David S. (2017): The Potential of Epigenetics Research to Transform Conceptions of Phenotype Development. In: *Human Development* 60/2-3, 69-80. <https://doi.org/10.1159/000477992>
- Müller, Gerd B./Olsson, Lennart (2003): Epigenesis and Epigenetics. In: Hall, Brain K., Olson, Wendy M. (Hg.), *Keywords and Concepts in Evolutionary Developmental Biology*. Cambridge: Harvard University Press, 114-123. <https://doi.org/10.2307/j.ctv228vqrq.21>
- Müller, Ruth/Hanson, Clare/Hanson, Mark/Penkler, Michael/Samaras, Georgia/Chiapperino, Luca/Dupré, John/Kenney, Martha/Kuzawa, Christopher/Latimer, Joanna/Lloyd, Stephanie/Lunkes, Astrid/Macdonald, Molly/Meloni, Maurizio/Nerlich, Brigitte/Panese, Francesco/Pickersgill, Martyn/Richardson, Sarah/Rüegg, Joëlle/Schmitz, Sigrid/Stelmach, Aleksandra/Villa, Paula-Irene (2017): The biosocial genome? Interdisciplinary perspectives on environmental epigenetics, health and society. In: *EMBO Reports* 18/10, 1677-1682. <https://doi.org/10.15252/embr.201744953>
- Müller-Wille, Staffan (2014): Epigenese und Präformation: Anmerkungen zu einem Begriffspaar. In: Lux, Vanessa, Richter, Jörg Thomas (Hg.), *Kulturen der Epigenetik: Vererbt, codiert, übertragen*. Berlin, Boston: De Gruyter.
- Müller-Wille, Staffan/Rheinberger, Hans-Jörg (2009): *Das Gen im Zeitalter der Postgenomik. Eine wissenschaftshistorische Bestandsaufnahme*. Frankfurt: Suhrkamp.

- Nanney, David L. (1958): Epigenetic Control Systems. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 44/7, 712-717. <https://doi.org/10.1073/pnas.44.7.712>
- Niewöhner, Jörg (2011): Epigenetics: Embedded bodies and the molecularisation of biography and milieu. In: *BioSocieties* 6/3, 279-298. <https://doi.org/10.1057/biosoc.2011.4>
- Niewöhner, Jörg (2014): Molekularbiologische Sozialwissenschaft? In: Lux, Vanessa, Richter, Jörg Thomas (Hg.), *Kulturen der Epigenetik: Vererbt, codiert, übertragen*. Berlin, Boston: De Gruyter, 259-270.
- Niewöhner, Jörg (2015): Epigenetics: localizing biology through co-laboration. In: *New Genetics & Society* 34/2, 219-242. <https://doi.org/10.1080/14636778.2015.1036154>
- Oyèwùmí, Oyèrónké (2005): Visualizing the Body. Western Theories and African Subjects. In: Oyèwùmí, Oyèrónké (Hg.), *African Gender Studies. A Reader*. New York: Palgrave Macmillan, 3-21. https://doi.org/10.1007/978-1-137-09009-6_1
- Parker, Jack (2001): Cytosine. In: Brenner, Sydney, Miller, Jefferey H. (Hg.), *Encyclopedia of Genetics*. New York: Academic Press, 510. <https://doi.org/10.1006/rwgn.2001.0309>
- Philipsen, Owe (2018): *Quantenfeldtheorie und das Standardmodell der Teilchenphysik. Eine Einführung*. Berlin, Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-57820-9>
- Pitts-Taylor, Victoria (2016): *Mattering: Feminism, Science, and Corporeal Politics*. In: Pitts-Taylor, Victoria (Hg.), *Mattering. Feminism, Science, and Materialism*. New York: New York University Press, 1-20. <https://doi.org/10.18574/nyu/9781479833498.003.0001>
- Rassoulzagedan, Minoo (2011): An Evolutionary Role for RNA-Mediated Epigenetic Variation? In: Gissis, Snait B., Jablonka, Eva (Hg.), *Transformations of Lamarckism. From Subtle Fluids to Molecular Biology*. Cambridge, London: The MIT Press, 227-235. <https://doi.org/10.7551/mitpress/9780262015141.003.0022>
- Richardson, Sarah S. (2015): *Maternal Bodies in the Postgenomic Order. Gender and the Explanatory Landscape of Epigenetics*. In: Richardson, Sarah S., Stevens, Hallam (Hg.), *Postgenomics: Perspectives on Biology after the Genome*. Durham, London: Duke University Press Books, 210-231. <https://doi.org/10.2307/j.ctv125jkk3.14>
- Ritchie, Hannah/Marshall, Dustin J. (2013): Fertilisation is not a new beginning: sperm environment affects offspring developmental success. In: *Journal of Experimental Biology* 216/16, 3104-3109. <https://doi.org/10.1242/jeb.087221>
- Roy, Deboleena/Subramaniam, Banu (2016): *Matter in the Shadows: Feminist New Materialism and the Practices of Colonialism*. In: Pitts-Taylor, Victoria (Hg.), *Mattering. Feminism, Science, and Materialism*. New York: New York University Press, 23-42. <https://doi.org/10.18574/nyu/9781479833498.003.0002>

- Sadava, David/Hillis, David M./Heller, H. Craig/Hacker, Sally D. (2019): *Purves Biologie*. 10. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-58172-8>
- Saunders, Peter T. (2017): Epigenetics and Evolution. In: *Human Development* 60/2-3, 81-94. <https://doi.org/10.1159/000477993>
- Schiebinger, Londa/Sánchez de Madariaga, Inés/Paik, Hee Young/Schraudner, Martina/Stefanick, Marcia (2011): *Osteoporosis Research in Men: Rethinking Standards and Reference Models. Gendered Innovations in Science, Health & Medicine, Engineering and Environment*. <https://genderedinnovations.stanford.edu/case-studies/osteoporosis.html#tabs-2> [letzter Zugriff 17.08.2021].
- Schmidt, Kirsten (2014): *Was sind Gene nicht? Über die Grenzen des biologischen Essentialismus*. Bielefeld: transcript. <https://doi.org/10.1515/transcript.9783839425831>
- Schmitz, Sigrid (2010): Sex, Gender, and the Brain. Biological Determinism versus Socio-Cultural Constructivism. In: Klinge, Gesine Thea (Hg.), *Sex and Gender in Biomedicine. Theories, Methodologies, Results*. Göttingen: Universitäts-Verlag Göttingen, 57-78.
- Schmitz, Sigrid (2015): Gender in Science: Bis hierhin und wie weiter? Potenziale und Grenzen genderbezogener Dialoge mit den MINT-Fächern. In: Paulitz, Tanja, Hey, Barbara, Kink, Susanne, Prietl, Bianca (Hg.), *Akademische Wissenskulturen und soziale Praxis: Geschlechterforschung zu natur-, technik- und geisteswissenschaftlichen Fächern*. Münster: Westfälisches Dampfboot, 228-250.
- Schmitz, Sigrid/Degele, Nina (2010): *Embodying – ein dynamischer Ansatz für Körper und Geschlecht in Bewegung*. In: Degele, Nina, Schmitz, Sigrid, Mangelsdorf, Marion, Gramespacher, Elke (Hg.), *Gendered Bodies in Motion*. Opladen, Farmington Hills MI: Budrich UniPress, 13-36. <https://doi.org/10.2307/j.ctvhktj8t.4>
- Scholz, Julia (2018): *Agential Realism als Basis queer(end)er Experimentalpsychologie. Eine wissenschaftstheoretische Auseinandersetzung*. Wiesbaden: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-22644-2>
- Schrader, Astrid (2010): Responding to *Pfiesteria piscicida* (the Fish Killer): Phenomenological Ontologies, Indeterminacy, and Responsibility in Toxic Microbiology. In: *Social Studies of Science* 40/2, 275-306. <https://doi.org/10.1177/0306312709344902>
- Schrader, Astrid (2015): Abyssal intimacies and temporalities of care: How (not) to care about deformed leaf bugs in the aftermath of Chernobyl. In: *Social Studies of Science* 45/5, 665-690. <https://doi.org/10.1177/0306312715603249>
- Schrader, Astrid (2020): Marine Microbiopolitics. Haunted Microbes before the Law. In: Braverman, Irus, Johnson, Elizabeth R. (Hg.), *Blue Legalities. The Life*

- & *Laws of the Sea*. Durham: Duke University Press, 255-330. <https://doi.org/10.2307/j.ctv1131dk7.16>
- Schultz, I./Hummel, D./Hayn, D. (2006): Geschlechterverhältnisse. In: Becker, Egon (Hg.), *Soziale Ökologie: Grundzüge einer Wissenschaft von den gesellschaftlichen Naturverhältnissen*. Frankfurt: Campus, 224-235.
- Schuol, Sebastian (2014): Kritik der Eigenverantwortung: Die Epigenetik im öffentlichen Präventionsdiskurs zum metabolischen Syndrom. In: Lux, Vanessa, Richter, Jörg Thomas (Hg.), *Kulturen der Epigenetik: Vererbt, codiert, übertragen*. Berlin, Boston: De Gruyter, 271-282. <https://doi.org/10.1515/9783110316032.271>
- Schuol, Sebastian (2016): Widerlegt die Epigenetik den Gendeterminismus? In: Heil, Reinhard (Hg.), *Epigenetik. Ethische, rechtliche und soziale Aspekte*. Wiesbaden: Springer, 45-58. https://doi.org/10.1007/978-3-658-10037-7_4
- Shostak, Sara/Moinester, Margot (2015): The Missing Piece of the Puzzle? Measuring the Environment in the Postgenomic Moment. In: Richardson, Sarah, Stevens, Hallam (Hg.), *Postgenomics. Perspectives on Biology after the Genome*. Durham, London: Duke University Press, 192-209. <https://doi.org/10.2307/j.ctv125ijk3.13>
- Simons, Robert W. (2001): Antisense RNA. In: Brenner, Sydney, Miller, Jefferey H. (Hg.), *Encyclopedia of Genetics*. New York: Academic Press, 83-84. <https://doi.org/10.1006/rwgn.2001.0061>
- Slack, Jonathan M.W. (2002): Conrad Hal Waddington: the last Renaissance biologist? In: *Nature Reviews Genetics* 3/11, 889-895. <https://doi.org/10.1038/nrg933>
- Soon, Chun Siong/Brass, Marcel/Heinze, Hans-Jochen/Haynes, John-Dylan (2008): Unconscious determinants of free decisions in the human brain. In: *Nature Neuroscience* 11/5, 543-545. <https://doi.org/10.1038/nn.2112>
- Squire, Susan Merrill (2017): *Epigenetic Landscapes: Drawings as Metaphor*. Durham: Duke University Press.
- Srinageshwar, Bhairavi/Maiti, Panchanan/Dunbar, Gary L./Rossignol, Julien (2016): Role of Epigenetics in Stem Cell Proliferation and Differentiation: Implications for Treating Neurodegenerative Diseases. In: *International Journal of Molecular Sciences* 17/2, 199. <https://doi.org/10.3390/ijms17020199>
- Sripada, Chandra (2016): Free will and the construction of options. In: *Philosophical Studies: An International Journal for Philosophy in the Analytic Tradition* 173/11, 2913-2933. <https://doi.org/10.1007/s11098-016-0643-1>
- St Clair, David/Xu, M./Wang, P./Yu, Y./Fang, Y./Zhang, F. (2005): Rates of adult schizophrenia following prenatal exposure to the Chinese famine of 1959-1961. In: *JAMA* 294, 557-562. <https://doi.org/10.1001/jama.294.5.557>

- Stadelbacher, Stephanie (2016): Die körperliche Konstitution des Sozialen. Zum Verhältnis von Körper, Wissen und Interaktion. Bielefeld: transcript. <https://doi.org/10.14361/9783839434574>
- Subramaniam, Banu (2014): *Ghost Stories for Darwin: The Science of Variation and the Politics of Diversity*. Urbana, Chicago, Springfield: University of Illinois Press. <https://doi.org/10.5406/illinois/9780252038655.001.0001>
- Subramaniam, Banu/Wiley, Angela (2017): Introduction: Feminism's Sciences. In: *Catalyst: Feminism, Theory, Technoscience* 3/1, 1-23. <https://doi.org/10.28968/cftt.v3i1.28784>
- Su-Keene, Eleanor J./Bonilla, Melvin M./Padua, Michael V./Zeh, David W./Zeh, Jeanne A. (2018): Simulated climate warming and mitochondrial haplogroup modulate testicular small non-coding RNA expression in the neotropical pseudoscorpion, *Cordylocheres scorpioides*. In: *Environmental Epigenetics* 4/4, 1-13. <https://doi.org/10.1093/eep/dvy027>
- Sundar, Jesse C./Munezero, Daniella/Bryan-Haring, Caitlyn/Saravanan, Thamaraiselvi/Jacques, Angelica/Ramamurthy, Visvanathan (2020): Rhodopsin signaling mediates light-induced photoreceptor cell death in rd10 mice through a transducin-independent mechanism. In: *Human Molecular Genetics* 29/3, 394-406. <https://doi.org/10.1093/hmg/ddz299>
- Susser, Ezra/Lin, Shang (1992): Schizophrenia After Prenatal Exposure to the Dutch Hunger Winter of 1944-1945. In: *Archives of General Psychiatry* 49/12, 983-988. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.1992.01820120071010>
- Takeshita, Chikako (2017): From Mother/Fetus to Holobiont(s): A Material Feminist Ontology of the Pregnant Body. In: *Catalyst: Feminism, Theory, Technoscience* 3/1, 1-28. <https://doi.org/10.28968/cftt.v3i1.28787>
- Thiele, Kathrin (2014): Pushing Dualisms and Differences: From ›Equality versus Difference‹ to ›Nonmimetic Sharing‹ and ›Staying with the Trouble‹. In: *Women: A Cultural Review* 25/1, 9-26. <https://doi.org/10.1080/09574042.2014.901110>
- Thiele, Kathrin (2020): Figurieren als spekulativ-feministische Praxis. Relationalität, Diffraction und die Frage ihrer ›Nicht-Unschuldigkeit‹. In: Angerer, Marie-Luise, Gramlich, Naomie (Hg.), *Feministisches Spekulieren. Genealogien, Narrationen, Zeitlichkeiten*. Berlin: Kadmos, 43-61.
- Thorson, Jennifer L.M./Beck, Daniel/Ben Maamar, Millissia/Nilsson, Eric E./Skinner, Michael K. (2021): Ancestral plastics exposure induces transgenerational disease-specific sperm epigenome-wide association biomarkers. In: *Environmental Epigenetics* 7/1, 1-13. <https://doi.org/10.1093/eep/dvaa023>
- Tiffon, Céline (2018): The Impact of Nutrition and Environmental Epigenetics on Human Health and Disease. In: *International Journal of Molecular Sciences* 19/11, 1-19. <https://doi.org/10.3390/ijms19113425>

- Toepfer, Georg (2014): Transmission von Organisation. In: Lux, Vanessa, Richter, Jörg Thomas (Hg.), *Kulturen der Epigenetik: Vererbt, codiert, übertragen*. Berlin, Boston: De Gruyter, 221-236. <https://doi.org/10.1515/9783110316032.221>
- Tollefsbol, Trygve O. (Hg.) (2011): *Handbook of Epigenetics: The New Molecular and Medical Genetics*. London, Burlington, San Diego: Academic Press.
- Tsing, Anna Lowenhaupt (2018): *Der Pilz am Ende der Welt. Über das Leben in den Ruinen des Kapitalismus*. Berlin: Matthes & Seitz.
- Valsiner, Jaan (2014): Epigenetik und Entwicklung: Drei Kontrollmodelle. In: Lux, Vanessa, Richter, Jörg Thomas (Hg.), *Kulturen der Epigenetik: Vererbt, codiert, übertragen*. Berlin, Boston: De Gruyter, 151-164. <https://doi.org/10.1515/9783110316032.151>
- Veland, Nicolas/Chen, Taiping (2017): Mechanisms of DNA Methylation and Demethylation During Mammalian Development. In: Tollefsbol, Trygve O. (Hg.), *Handbook of Epigenetics. The New Molecular and Medical Genetics*. London: Elsevier, 11-24. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805388-1.00002-X>
- Vergères, Guy (2012): Nutri(epi)genomik. In: Lux, Vanessa, Richter, Jörg Thomas (Hg.), *Interjekte 3 Kulturelle Faktoren der Vererbung*. 8-14.
- Vergères, Guy/Gille, Doreen (2014): Nutri(epi)genomik. In: Lux, Vanessa, Richter, Jörg Thomas (Hg.), *Kulturen der Epigenetik: Vererbt, codiert, übertragen*. Berlin, Boston: De Gruyter, 1-10. <https://doi.org/10.1515/9783110316032.1>
- Villa, Paula-Irene (2008): Körper. In: Baur, Nina (Hg.), *Handbuch Soziologie*. Wiesbaden: VS, 201-217. https://doi.org/10.1007/978-3-531-91974-4_10
- Völker, Susanne (2019a): »Cutting Together/Apart« – Impulses from Karen Barad's Feminist Materialism for a Relational Sociology. In: Kissmann, Ulrike Tikvah, van Loon, Joost (Hg.), *Discussing New Materialism. Methodological Implications for the Study of Materialities*. Wiesbaden: VS, 87-106. https://doi.org/10.1007/978-3-658-22300-7_5
- Völker, Susanne (2019b): Praxeologie und Praxistheorie: Resonanzen und Debatten in der Geschlechterforschung. In: Kortendiek, Beate, Riegraf, Birgit, Sabisch, Katja (Hg.), *Handbuch Interdisziplinäre Geschlechterforschung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 509-518. https://doi.org/10.1007/978-3-658-12496-0_46
- Waddington, Conrad (1940): *Organisers and Genes*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Waddington, Conrad (1942): Canalization of Development and the Inheritance of acquired Characters. In: *Nature* 3811, 563-565. <https://doi.org/10.1038/150563a0>
- Waddington, Conrad (1957): *The Strategy of the Genes. A Discussion of some Aspects of Theoretical Biology*. London: Allen & Unwin.
- Waddington, Conrad (1960): *The Ethical Animal*. Chicago: University of Chicago Press.

- Waddington, Conrad (1968): Towards a Theoretical Biology. In: *Nature* 218/5141, 525-527. <https://doi.org/10.1038/218525a0>
- Waddington, Conrad (2012): The epigenotype. In: *International Journal of Epidemiology* 41/1, 10-13. <https://doi.org/10.1093/ije/dyr184>
- Waggoner, Miranda R./Uller, Tobias (2015): Epigenetic determinism in science and society. In: *New Genetics & Society* 34/2, 177-195. <https://doi.org/10.1080/14636778.2015.1033052>
- Wahrig-Burfeind, Renate (2007): Wahrig. Fremdwörterbuch. München: dtv.
- Waterland, Robert A./Jirtle, Randy L. (2003): Transposable Elements: Targets for Early Nutritional Effects on Epigenetic Gene Regulation. In: *Molecular and Cellular Biology* 23/15, 5293-5300. <https://doi.org/10.1128/MCB.23.15.5293-5300.2003>
- Weasel, Lisa (2016): Embodying Intersectionality. The Promise (and Peril) of Epigenetics for Feminist Science Studies. In: Pitts-Taylor, Victoria (Hg.), *Mattering. Feminism, Science, and Materialism*. New York, London: New York University Press, 104-121. <https://doi.org/10.18574/nyu/9781479833498.003.0007>
- Weaver, Ian C.G./Cervoni, Nadia/Champagne, Frances A./D'Alessio, Ana C./Sharma, Shakti/Seckl, Jonathan R./Dymov, Sergiy/Szyf, Moshe/Meaney, Michael J. (2004): Epigenetic programming by maternal behavior. In: *Nature Neuroscience* 7/8, 847-854. <https://doi.org/10.1038/nn1276>
- Weaver, Ian C.G./D'Alessio, Ana C./Brown, Shelley E./Hellstrom, Ian C./Dymov, Sergiy/Sharma, Shakti/Szyf, Moshe/Meaney, Michael J. (2007): The Transcription Factor Nerve Growth Factor-Inducible Protein A Mediates Epigenetic Programming: Altering Epigenetic Marks by Immediate-Early Genes. In: *The Journal of Neuroscience* 27/7, 1756-1768. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4164-06.2007>
- Weheliye, Alexander G. (2014): *Habeas Viscus. Racializing Assemblages, Biopolitics, and Black Feminist Theories of the Human*. Durham: Duke University Press. <https://doi.org/10.1515/9780822376491>
- Weigel, Sigrid (2006): *Genea-Logik: Generation, Tradition und Evolution zwischen Kultur- und Naturwissenschaften*. München: Fink.
- Witherington, David C./Lickliter, Robert (2017): Transcending the Nature-Nurture Debate through Epigenetics: Are We There Yet? In: *Human Development* 60/2-3, 65-68. <https://doi.org/10.1159/000478796>
- Wossidlo, Mark (2012): *Epigenetische Reprogrammierung der DNA Methylierung in der frühen Embryogenese der Maus*. Saarbrücken: Universität des Saarlandes.
- Yoshizawa, Rebecca S. (2016): Fetal-Maternal Intra-action: Politics of New Placental Biologies. In: *Body & Society* 22/4, 79-105. <https://doi.org/10.1177/1357034X16662323>

- Zapata-Martín del Campo, Carlos Manuel/Martínez-Rosas, Martín/Guarner-Lans, Verónica (2018): Epigenetic Programming of Synthesis, Release, and/or Receptor Expression of Common Mediators Participating in the Risk/Resilience for Comorbid Stress-Related Disorders and Coronary Artery Disease. In: *International Journal of Molecular Sciences* 19/4, 1224. <https://doi.org/10.3390/ijms19041224>
- Zhu, Yujie/Shamblin, Isaac/Rodriguez, Efrain/Salzer, Grace E./Araysi, Lita/Margolies, Katherine A./Halade, Ganesh V./Litovsky, Silvio H./Pogwizd, Steven/Gray, Michelle/Huke, Sabine (2020): Progressive cardiac arrhythmias and ECG abnormalities in the Huntington's disease BACHD mouse model. In: *Human Molecular Genetics* 29/3, 369-381. <https://doi.org/10.1093/hmg/ddz295>

Danksagung

Ich möchte diesem Buch eine Danksagung hinzufügen, um deutlich zu machen, dass ich zwar diejenige bin, die dieses Buch geschrieben hat, aber viele andere den Prozess begleitet haben. Das Schreiben einer Doktorarbeit ist schwerlich vorstellbar ohne gemeinsames Denken, kollegialen Austausch und Diskussionen, manchmal schwer auszuhaltende Unsicherheiten und produktive Un/Bestimmtheiten. Die jahrelange Arbeit an diesem Buch hat mich verstehen lassen, was Verschränkungen bedeuten und eindrücklich vermittelt, dass Menschen, Begegnungen, Situationen, Texte, Gespräche, Schreibphasen und vieles mehr hier *intra_agieren*, genauso wie Pandemie, universitäre Strukturen, Erwartungen, schlaflose Nächte und Ressourcen unterschiedlicher Art. Das alles und vieles mehr konstituiert, was nun als Buch vorliegt.

Schon andere ereignisreiche Situationen in meinem Leben haben mich – weit weg von Bergen und Wäldern – an eine herausfordernde und gewagte Bergwanderung erinnern lassen. Auch das Schreiben einer Dissertation fühlte sich für mich oftmals so an – wie ein steiniger Weg, ein steiler Aufstieg mit ausgesetzten Stellen, der auf langgezogenen Serpentinien zu schaffen ist. Die Arbeit an meinem Projekt löste nicht selten Zweifel aus und es galt auszuhalten, dass viele Richtungen möglich sind und die Suche nach einem richtigen Weg oft Umwege oder gar ein Verlaufen bedeutet. Genau wie im Gelände ändern sich auch in der Promotion Wegbeschaffenheiten und Verhältnisse immer wieder und es ist nützlich, sorgfältige Vorbereitungen zu treffen und erfahrene Wegbegleiter_innen zu suchen. Zugleich gilt für diese Unternehmungen, nicht nur körperliche Erschöpfung, sondern auch Ungewissheiten durchzustehen und offen zu bleiben für das, was kommt und wie es werden wird. Regelmäßig musste ich mich fragen, welche Ausrüstung und Ausstattung die passende ist, und musste mich erinnern, Pausen nicht mit Durststrecken gleichzusetzen. Neben verschiedenartigen hilfreichen Wegmarkierungen, neben Schweiß, Schmerz, Freuden und schönen Aussichten, möchte ich abschließend vor allem die menschlichen Wegbegleiter_innen würdigen, die sehr wichtig für mich waren.

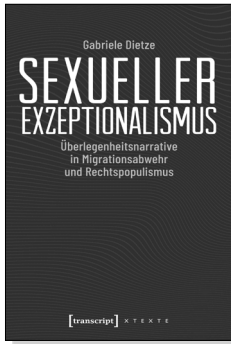
Zuallererst möchte ich mich bei meinen beiden Doktormüttern bedanken. Susanne Völker, die mich in ihr Team aufgenommen hat, mir die intensive Arbeit

an meiner Dissertation ermöglicht und mich inhaltlich nicht nur begleitet, sondern sehr gestärkt hat, will ich an dieser Stelle ganz herzlich danken! Ich freue mich, wenn es gemeinsam weitergeht. Bei Sigrid Schmitz möchte ich mich ebenso herzlich bedanken, die mich schon lange, erst mit ihren Texten und Lehrveranstaltungen, dann auch im persönlichen Kontakt begleitet und bei unseren regelmäßigen Treffen herausgefordert und dabei auch immer weiter geschickt hat auf den unebenen Weg zu diesem Buch. Danke Euch beiden für Eure unterstützende, wertschätzende und inspirierende Betreuung und Begleitung!

Halt und Orientierung gegeben haben mir darüber hinaus an der Universität zu Köln meine Freund_innen Karo Kalmbach und Julia Scholz sowie meine anderen großartigen Kolleg_innen – auch die ehemaligen – dort. Aus meiner Zeit an der Universität Bielefeld konnte ich sehr vieles mitnehmen, zum Beispiel den *Diss-Club* mit Frauke Dißelkötter und Susanne Richter und den fortwährenden Kontakt und Austausch mit Ruth Pohl-Grund. Dem *Doktorand*innen-Netzwerk gender und queer* an der Universität zu Köln bin ich sehr dankbar für den Austausch auf Augenhöhe und das Kennenlernen vor allem von Alisa Kronberger und Christina Lammer, denen ich für den beständigen fachlichen wie persönlichen Austausch ganz besonders danken möchte. Auch den Mitgliedern der *Diskussionsrunde New Materialism* sowie der *Klasse 2* der Graduiertenschule der Humanwissenschaftlichen Fakultät an der Universität zu Köln, und hier besonders Markus Dederich, Sarah Karim und Lilli Riettiens, möchte ich für die anspruchsvollen und interessanten Lern- und Gesprächsräume danken, die da wie dort für mich entstanden sind und mir in vielen Etappen geholfen haben. Sowohl die ermöglichenden Strukturen durch die Universität zu Köln sowie die fachlichen und kollegialen Gespräche auf Tagungen und während meines Forschungsaufenthaltes an der University of California in Santa Cruz bei Karen Barad als auch die persönliche und emotionale Unterstützung durch meine Freund_innen waren für mich wertvolle Wegbegleiter_innen.

Schließlich gilt mein Dank von Herzen meiner Familie, die mich seit ich Denken kann so gestärkt hat, dass ich Selbstvertrauen und Zuversicht zuverlässig als Begleiter_innen spüre und ohne die ich jetzt nicht die Danksagung zu meinem Buch schreiben würde. Danke an Karin und Thomas Krall, an meine Großeltern und an Anna und Jürgen. Und, in ganz besonderer Verbundenheit, danke an Oskar und an Frieder.

Gender & Queer Studies



Gabriele Dietze

Sexueller Exzeptionalismus

Überlegenheitsnarrative in Migrationsabwehr
und Rechtspopulismus

2019, 222 S., kart., 32 SW-Abbildungen

19,99 € (DE), 978-3-8376-4708-2

E-Book:

PDF: 17,99 € (DE), ISBN 978-3-8394-4708-6



Yener Bayramoglu, Maria do Mar Castro Varela

Post/pandemisches Leben

Eine neue Theorie der Fragilität

2021, 208 S., kart., 6 SW-Abbildungen

19,50 € (DE), 978-3-8376-5938-2

E-Book:

PDF: 17,99 € (DE), ISBN 978-3-8394-5938-6

EPUB: 17,99 € (DE), ISBN 978-3-7328-5938-2



bff: Bundesverband Frauenberatungsstellen
und Frauennotrufe, Nivedita Prasad (Hg.)

Geschlechtsspezifische Gewalt

in Zeiten der Digitalisierung

Formen und Interventionsstrategien

2021, 334 S., kart., 3 SW-Abbildungen

35,00 € (DE), 978-3-8376-5281-9

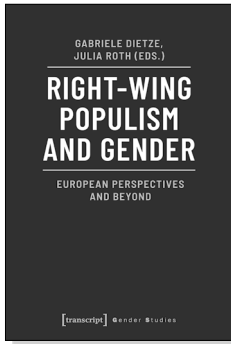
E-Book: kostenlos erhältlich als Open-Access-Publikation

PDF: ISBN 978-3-8394-5281-3

ISBN 978-3-7328-5281-9

**Leseproben, weitere Informationen und Bestellmöglichkeiten
finden Sie unter www.transcript-verlag.de**

Gender & Queer Studies



Gabriele Dietze, Julia Roth (eds.)

Right-Wing Populism and Gender European Perspectives and Beyond

2020, 286 p., pb., ill.

35,00 € (DE), 978-3-8376-4980-2

E-Book:

PDF: 34,99 € (DE), ISBN 978-3-8394-4980-6



Katrin Huxel, Juliane Karakayali,
Ewa Palenga-Möllenneck, Marianne Schmidbauer,
Kyoko Shinozaki, Tina Spies, Linda Supik, Elisabeth Tuidor (Hg.)

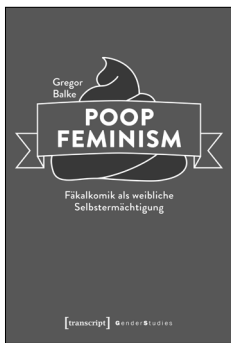
Postmigrantisch gelesen Transnationalität, Gender, Care

2020, 328 S., kart., 7 SW-Abbildungen

40,00 € (DE), 978-3-8376-4728-0

E-Book:

PDF: 39,99 € (DE), ISBN 978-3-8394-4728-4



Gregor Balke

Poop Feminism – **Fäkalkomik als weibliche Selbstermächtigung**

2020, 188 S., kart., 30 SW-Abbildungen

28,00 € (DE), 978-3-8376-5138-6

E-Book:

PDF: 24,99 € (DE), ISBN 978-3-8394-5138-0

**Leseproben, weitere Informationen und Bestellmöglichkeiten
finden Sie unter www.transcript-verlag.de**