

Hannes Rickli

Der unsichtbare Faden. Zu Materialität und Infrastrukturen digitaler Tierbeobachtung

2016

<https://doi.org/10.25969/mediarep/18646>

Veröffentlichungsversion / published version
Zeitschriftenartikel / journal article

Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Rickli, Hannes: Der unsichtbare Faden. Zu Materialität und Infrastrukturen digitaler Tierbeobachtung. In: *ZMK Zeitschrift für Medien- und Kulturforschung*. Medien der Natur, Jg. 7 (2016), Nr. 2, S. 137–154. DOI: <https://doi.org/10.25969/mediarep/18646>.

Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer Creative Commons - Namensnennung - Nicht kommerziell - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 3.0/ Lizenz zur Verfügung gestellt. Nähere Auskünfte zu dieser Lizenz finden Sie hier:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Terms of use:

This document is made available under a creative commons - Attribution - Non Commercial - Share Alike 3.0/ License. For more information see:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Der unsichtbare Faden

Zu Materialität und Infrastrukturen digitaler Tierbeobachtung

Hannes Rickli

BEI RECHERCHEN ÜBER DIE Aufbauphase eines Experimentalsystems zur Untersuchung der Flugsteuerung bei der Schwarzbäuchigen Fruchtfliege (*Drosophila melanogaster*) am Institut für Neuroinformatik der Eidgenössischen Technischen Hochschule ETH und Universität Zürich stieß ich 2008 auf mehrere Serien von Highspeed-Videoaufnahmen frei fliegender Fruchtfliegen von Steven N. Fry. Sie waren 2006 auf dem Projektserver im Ordner ›first tests‹ als graustufige Bitmap-Einzelbildserien abgelegt worden. Im Filmformat abgespielt, zeigen die wenige Sekunden dauernden Sequenzen lateral fotografierte Insektenflüge mit einem wiederkehrenden Muster, das aussah, als würden die Tiere etwas Bestimmtes üben. Ein einzelnes Tier erscheint jeweils in der linken Hälfte des horizontal langgezogenen Bildfelds und fliegt nach rechts, bevor es nach ein paar Flügelschlägen von einer unsichtbaren Kraft in die Bildmitte zurückgeführt wird, worauf es unvermittelt wieder Geschwindigkeit aufnimmt und über den rechten Rand das Bild verlässt. Die formalen Eigenschaften des Bildes, das überlange Cinémascope-Format, der mit einzelnen Spuren und Flecken markierte und in der Bildmitte etwas hellere neutrale Hintergrund, die unregelmäßig verlaufenden Bildränder oben und unten sowie die tendenzielle Bewegungsrichtung des beobachteten Objekts von links nach rechts erinnern an chronofotografische Dokumentationen des französischen Physiologen Étienne-Jules Marey Ende des 19. Jahrhunderts. Marey ließ in gleicher Richtung Haus- und Nutztiere von einem Assistenten an einer Leine geführt vor seiner Kamera passieren und vermaß in den Aufzeichnungen deren Gangarten und Bewegungsabläufe. In beiden Projekten stellen die visuellen Produkte lediglich das Rohmaterial der Erkenntnisgewinnung und nicht das wissenschaftliche Ziel dar. Dieses bestand sowohl für Marey in Paris wie auch für den Verhaltensbiologen Steven N. Fry in der nachträglichen Abstrahierung der Bild-daten in stabile mathematische Informationseinheiten.

Betrachte ich heute diese Überreste und Spuren wissenschaftlicher Vorarbeit aus der Perspektive des Künstlers, interessieren mich verschiedene Aspekte, die auf die eine oder andere Weise mit Ästhetik zu tun haben. Mit ästhetisch meine ich hier die Frage der sinnlichen Wahrnehmbarkeit von Handlungen, Räumen und Zeitlichkeit in den Vorgängen der Tierbeobachtung sowie die Materialität der in

die Erkenntnisprozesse involvierten Medien und technologischen Infrastrukturen. Wie wandeln sich Mensch-Tier-Medien-Raum-Zeit-Verhältnisse im Übergang von analogen zu digitalen Forschungspraktiken und wie sind sie materiell verfasst? Welche Kräfte und Energien steuern diese Verhältnisse? Wie beteiligen sich Medien, Infrastrukturen und Materie etwa in Form von Elektrizität, Stürmen oder Bioaktivität an der Erkenntnisgewinnung? Wie gestaltet die Elektrizität als plastisches Medium der Natur sowie der Wissenschaften den Horizont dessen, was wir über »natürliche Systeme« wissen können, und wie begrenzt diese Energie umgekehrt den möglichen Wissenshorizont?

Diesen Fragen gehe ich in empirischen Untersuchungen nach, die in den frühen 1990er-Jahren begannen und seit 2007 im Rahmen künstlerischer Forschungsprojekte systematisch stattfinden. Die Fragen und Themen erlangten allerdings erst allmählich Kontur anlässlich von Laborbesuchen und in explorativen Versuchen am videografischen Rohmaterial dreier Arbeitsgruppen in den Biowissenschaften. Die Träger ihrer Forschungsinteressen sind Fische und Insekten einerseits und andererseits die Apparaturen ihrer Experimentalsysteme, mit denen sich die Fragen materialisieren lassen, die sie an die Tiere stellen.¹ Im Lauf der langjährigen Zusammenarbeit mit den Biologen Philipp Fischer, Helgoland,² Hans Hofmann, Austin, Texas,³ und Steven N. Fry, Zürich,⁴ konnte ich die Entwicklung ihrer Forschungsfragen und Experimentalsysteme mitverfolgen. Die Forschungsfelder der drei Gruppen und die wichtigsten Verfahren, mit denen sie arbeiten, sind Fischökologie der Küste Spitzbergens mittels *remote sensing* (Fischer), Molekularbiologie und Neurowissenschaften in Koppelung mit Bioinformatik (Hofmann) und Biomechanik mit *3D-Trackit*-Systemen (Fry). Die Dynamik ihrer technologiebasierten Forschungen lässt sich als eine Art Pendelbewegung beschreiben, in der das »technische« Ding⁵ zur Bearbeitung des »epistemischen« (biologischen)

¹ »Experimentalsysteme sind nicht Anordnungen zur Überprüfung und bestenfalls zur Erteilung von Antworten, sondern insbesondere zur Materialisierung von Fragen.« Hans-Jörg Rheinberger: *Experimentalsysteme und epistemische Dinge. Eine Geschichte der Proteinsynthese im Reagenzglas*, Frankfurt am Main 2006, S. 25.

² Biologische Anstalt Helgoland, Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, <https://www.awi.de/ueber-uns/organisation/mitarbeiter/philipp-fischer.html> (24. 04. 2016). Kooperation seit 2005.

³ Section of Integrative Biology, University of Texas at Austin, <http://cichlid.biosci.utexas.edu/> (24. 04. 2016). Kooperation seit 1994.

⁴ Institut für Neuroinformatik, ETH und Universität Zürich, <http://fly.ini.uzh.ch/joomlas/> (24. 04. 2016). Kooperation 1999–2011.

⁵ »Zu den technischen Dingen gehören Instrumente, Aufzeichnungsapparaturen und, in den biologischen Wissenschaften besonders wichtig, standardisierte Modellorganismen mitsamt den in ihnen sozusagen verknöcherten Wissensbeständen. Die technischen Bedingungen definieren nicht nur den Horizont des Experimentalsystems, sie sind auch

Dings⁶ selber zum epistemischen (technologischen) Ding wird und so fort. Die sich stetig entwickelnden Technologien durchdringen die biologischen Fragestellungen und erfordern deren Einpassung in die technischen Systeme.

Was haben die Führungseine und der Assistent in den Esel-Passagen mit der unsichtbaren Kraft, die auf die Flugbahn der *Drosophila* im Windkanal einwirkt, gemeinsam? Beide sind, obwohl stofflich unterschiedlich beschaffen und mehr als hundert Jahre auseinanderliegend, auf je spezifische Weise Motive, die mit ähnlichen Effekten und ähnlichem Status im Prozess der Erkenntnisgewinnung die Interaktion von menschlichen und nicht-menschlichen Akteuren anleiten und steuern. Beide ordnen die Beziehungen innerhalb eines Experimentalsystems. Michel Serres würde solche Objekte oder Dinge, die das Zusammenspiel innerhalb des Kollektivs menschlicher, tierischer und technologischer Komponenten ermöglichen, formen und auch eingrenzen, wohl als ›Quasi-Objekt‹ bezeichnen. Er beschreibt ihre Beschaffenheit und Wirkungsweise als wechselhaft und nicht immer klar erkennbar: »Es gibt Objekte, mit denen sich das bewerkstelligen lässt, Quasi-Objekte, Quasi-Subjekte, von denen man nicht weiß, ob sie Wesen oder Relationen, ob sie Bruchstücke von Wesen oder Zipfel von Relationen sind.« Ein Quasi-Objekt sei »nur für die Zirkulation da. Es ist im strengen Sinne die Transsubstantiation des Wesens in eine Relation.«⁷ Das Quasi-Objekt »macht« das Kollektiv,⁸ es bringt dieses hervor und organisiert es. Allerdings sei es »blank«⁹ und »geht gegen Null, tendiert zur Abwesenheit in einem schwarzen Kollektiv«.¹⁰ Im Zusammenhang meiner künstlerischen Laborstudien verwende ich für diese besonderen Organisationinstrumente den Begriff ›Infrastruktur‹. Die Infrastruktur liegt normalerweise unterhalb unserer Wahrnehmungsschwelle und »gilt als ein unsichtbares Substrat – als verbindendes Medium oder Strom zwischen Objekten von eindeutiger Zielsetzung, Form und Gesetzmässigkeit«, wie die Urbanistin

Sedimentationsprodukte lokaler oder disziplinärer Arbeitstraditionen mit ihren Messapparaturen [...]. Sie determinieren die Wissensobjekte in doppelter Hinsicht: Sie bilden ihre Umgebung und lassen sie erst als solche hervortreten, sie begrenzen sie aber auch und schränken sie ein.« Hans-Jörg Rheinberger (2006), (wie Anm. 1), S. 29.

⁶ »Epistemische Dinge sind die Dinge, denen die Anstrengungen des Wissens gilt – nicht unbedingt Objekte im engeren Sinn, es können auch Strukturen, Reaktionen, Funktionen sein. Als epistemische präsentieren sich diese Dinge in einer für sie charakteristischen, irreduziblen Verschwommenheit und Vagheit.« Ebd., S. 27.

⁷ Zur »Theorie des Quasi-Objekts« vgl. Michel Serres: *Der Parasit*, Frankfurt am Main 2014, S. 344–360, hier S. 350.

⁸ Ebd., S. 346.

⁹ Ebd., S. 353.

¹⁰ Ebd., S. 360.

Keller Easterling ausführt.¹¹ Auch wenn sie unsichtbar sind und im Fokus wissenschaftlicher Arbeit eine Nebensächlichlichkeit darstellen, binden Infrastrukturen grosse Teile der Ressourcen von Forschungsunternehmen.

Die von mir initiierte interdisziplinäre Forschungskooperation *Computersignale* untersucht seit 2012 Aspekte der Herstellung und Verarbeitung von Daten in den Biowissenschaften. Ihr gehören neben den Biologen und Künstlerinnen auch erfahrene Wissenschaftsforscher an. Zusammengenommen ergeben mehrere Projektphasen¹² eine Langzeituntersuchung zum Übergang von analogen zu digitalen Forschungspraktiken am Beispiel der drei oben erwähnten Arbeitsgruppen auf Helgoland, in Austin, Texas und in Zürich. Im ersten Projekt *Überschuss. Videogramme des Experimentierens* wurden anhand analoger Videoaufzeichnungen der 1990er-Jahre retrospektiv Konfigurationsverhältnisse zwischen menschlichen, tierischen und technischen Akteuren herausgearbeitet sowie die agentielle Rolle der Medien untersucht.¹³ Im Projekt *Computersignale. Kunst und Biologie im Zeitalter ihres digitalen Experimentierens* ging es um die Herstellung von künstlerischen, technischen und theoretischen Zugängen zur Beobachtung der digitalen Datenarbeit in den Laboratorien.

In den folgenden Abschnitten werden die materiellen und konzeptionellen Wandlungen von Quasi-Objekten biowissenschaftlicher Forschung in fünf Stationen nachgezeichnet. Sie haben verschiedene Ausprägungen: Mareys feste Leine (1), durchsichtige und unsichtbare Objekte in Form eines transparenten Nylonfadens (2) und einer *Vitual-reality*-Umgebung (3), ein Seekabel (4) und ein Netzwerk von Erdöl- und Erdgaspipelines sowie Kühlwasser- und Internetleitungen (5). Während die Quasi-Objekte immer weiter aus der physischen Wahrnehmung verschwinden, nimmt ihre Massivität zu und sie verbinden die Forschung mit Landschaften, Politiken und Ökonomien.

¹¹ Keller Easterling: Die infrastrukturelle Matrix, in: Zeitschrift für Medienwissenschaft ZfM, Heft 12 2015, S. 68–78, hier S. 68.

¹² Details zu den Projekten und Kooperationspartner s. *Überschuss. Videogramme des Experimentierens* (2007–2009, gefördert durch den Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung SNF), <https://www.zhdk.ch/index.php?id=70253> (12.04.2016) und *Computersignale. Kunst und Biologie im Zeitalter ihres digitalen Experimentierens* (2012–2015, Förderung SNF), <https://www.zhdk.ch/index.php?id=computersignale> (12.04.2016). Ein Fortsetzungsprojekt ist beim SNF beantragt.

¹³ Vgl. Hannes Rickli (Hg.): *Videogramme. Die Bildwelten biologischer Experimentalsysteme als Kunst- und Theorieobjekt*, Zürich 2011.

1. Die Leine

Um 1890 lässt Étienne-Jules Marey in seinem Pariser Institut *Station physiologique* zum Studium ihrer Gangarten eine Serie von Tieren an einer Kamera vorbeiziehen. Die Passagen finden vor einer etwa zehn Meter langen, auf der Fotografie neutralgrau dargestellten Hauswand statt, am Boden sind im Vordergrund Meterabschnitte schwarz und weiss markiert. In einer Serie von drei Versuchen mit dem Titel »Âne, Marche« und der Jahresangabe 1893 wird in der ersten Sequenz, die 26 Einzelbilder umfasst, ein Esel von einem Gehilfen an einer losen Leine von links nach rechts durch das langgezogene Bildformat geführt. Der zweite Durchgang geht im Galopp daher. Für den dritten Anlauf wurde vor der Wand eine Uhr mit Sekundenzeiger installiert, die zu laufen beginnt, sobald die Aufnahme startet. Dieses Mal sträubt sich das Versuchstier und bricht nach einem kräftigen Zug des Assistenten an der Führungsleine in Richtung Kamera aus, der Assistent ist bemüht, das Tier am Fotoapparat vorbeizusteuern. Ob die Demotivation des Tiers ausgelöst wurde durch eine Störung in der Umgebung oder einfach dem sprichwörtlichen Charakter des Esels entspricht, ist auf der fotografischen Überlieferung nicht zu ermitteln.



Abb. 1: Etienne-Jules Marey; Georges Demeny: »Âne, Marche«. Station physiologique, Paris, 1893 (Screenshot).

Die Aufzeichnungen scheinen das ferne Echo einer Szenerie zu sein, die kaum Ähnlichkeiten mit zeitgenössischer, technologiebasierter Forschung aufweist. In ihrem rohen, elementaren Zustand enthält sie jedoch wesentliche Elemente und Muster, die auch heute noch bestimmten Formen der Tierbeobachtung und -vermessung zugrunde liegen. Die Bildserie führt ein Experimentalsystem vor, das aus einem Bündel von menschlichen und nichtmenschlichen Komponenten in raumzeitlichen Anordnungen besteht. Die Arena, das Tier, der Gehilfe, die Leine, das Metermass, die Uhr, die Kamera und nicht zuletzt die auf den fotografischen Plat-

ten festgehaltene Spur der experimentellen Handlungen sind Motive, die sich im Lauf der Zeit ausdifferenziert haben. Der Strick in Mareys Versuch verweist auf ein Grundprinzip technologisch basierter Verhaltensforschung, das im ständigen Abgleich, der gegenseitigen Anpassung und Zurichtung der Akteure besteht, um unter Laborbedingungen ein möglichst »natürliches« Verhalten¹⁴ zu registrieren. Die Eselsleine verfeinert sich in meinen Laborbeispielen um die Jahrtausendwende in Form von Lichtschranken und einem transparenten Faden und de-materialisiert sich in einer virtuellen Umgebung, in der sich die Versuchstiere orientieren.

2. Der Nylonfaden

Steven N. Fry erforschte 1995 bis 1998 die Zielnavigation bei der Honigbiene (*Apis mellifera*). Er baute ein Experimentalsystem auf, das aus einem runden Flugzelt aus weißer Gaze bestand und einer Videoanlage, deren Kamera vertikal auf die Basis des Zelts ausgerichtet war. Die Honigbienen aus der Umgebung der Universität traten einzeln in die Arena ein, nachdem sie gelernt hatten, dort eine Futterlösung zu finden. Sie durchliefen eine Röhre und lösten dabei eine Lichtschranke aus, die das Videosystem startete. Im Flugzelt auf einem erhöhten Podest angelangt orientierten sie sich an zylinderförmigen Landmarken, die in der weiteren Umgebung einer im Boden versenkten Zuckerschale platziert waren. Um die visuelle Orientierungsleistung der Bienen anhand der aufgestellten Markierungen zu messen und den Geruchreiz des Zuckers auszuschließen, deckte Fry das Eingangsloch zur Schale mit einer kleinen Acrylglasscheibe ab. Die Biene ermittelte in einem Suchflug zwischen den Zylindern das mutmaßliche Futterziel. In dem Moment, in dem sie es fand, zog Fry, außerhalb des Zelts positioniert und über das Monitorbild der Kamera mit dem Inneren des Zelts verbunden, an einem transparenten Nylonfaden die Abdeckung der Schale weg, so dass das Insekt in die Ausgangsröhre schlüpfen konnte, wo es seine Belohnung abholte. Bei dieser Gelegenheit beendete es beim Passieren einer zweiten Lichtschranke die analoge Videoaufzeichnung. Ab 1997, am Ende seiner Versuchsreihen, setzte der Experimentator eine selbst entwickelte *Trackit*-Kamera ein, die aufgrund der Kontrastverhältnisse im Bildfeld den dunklen Bienenleib während eines Fluges über dem hellen Untergrund in Nahaufnahme verfolgte. Aus den Kamerabewegungen errechnete das Programm die Daten des zurückgelegten Wegs sowie die die Ausrichtungen der Körperachse und stellte sie grafisch dar.

¹⁴ Vgl. dazu auch Christoph Hoffmann: Eigenleben im Experiment. Zur Erforschung »natürlicher Systeme«, in: Hannes Rickli (Hg.): Videogramme: Die Bildwelten biologischer Experimentalsysteme als Kunst- und Theorieobjekt, Zürich 2011, S. 46–55.

Das halbautomatisierte Experimentalsystem erhob eine Vielzahl von statistisch relevanten Flugdaten. Die Datenauswertung erfolgte ihrerseits digital programmiert. In der Folge wurden Bildmedien vermehrt als optische Sensoren eingesetzt, die Signale in numerische Daten zur Steuerung der Aufnahmesysteme umsetzten bei gleichzeitiger Kontrolle der Bewegungen der Tiere, ohne dass der Beobachter hinterher die visuellen Aufzeichnungen als Bilder betrachten und *frame by frame* und bearbeiten musste. Die Delegation der Beziehungssteuerung von Tieren und Aufzeichnungsmedien an den Computer hatte den Effekt einer De-Materialisierung der Beobachter-Objekt-Relation. Ein weiterer Effekt der Automatisierung bestand darin, dass die physische Anwesenheit des Experimentators am Ort seines Systems nicht mehr notwendig war.

3. Die virtuelle Umgebung

Zur Untersuchung neuronaler Vorgänge der Bewegungssteuerung bei der Fruchtfliege richtete Steven N. Fry ab 2005 einen Windkanal ein, in dem einzelne Insekten, angelockt von Essigduft, frei fliegen konnten. Mit Hilfe eines optischen *3D-Trackit*-Systems sowie einer an die Seitenwände des Kanals projizierten grafischen Musters wurde das Tier an einen Punkt in der Mitte des Flugraums geführt. Basis für die Positionierung der Fliege war die Beobachtung, dass das Insekt eine bevorzugte Fluggeschwindigkeit einzuhalten sucht (*preferred flight speed*). Diese kontrolliert sie über ihre optische Wahrnehmung. Die *Trackit*-Anlage bestand aus zwei beweglichen Kameras, die vertikal angeordnet das Tier erfassten und die aktuelle Position in Echtzeit an den Rechner zur Steuerung der visuellen Umgebung übermittelte. Das in flexiblen Geschwindigkeiten präsentierte Muster leitete die Fliege zum Zentrum des Windkanals. Befand sie sich dort, wurde während

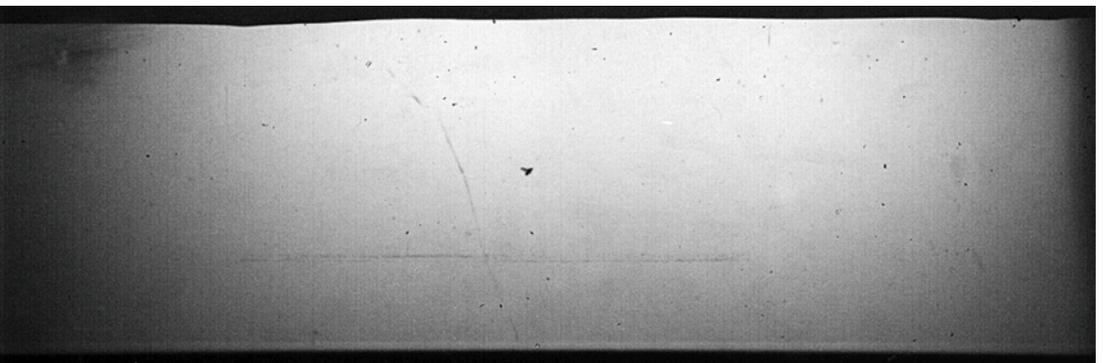


Abb. 2: *Drosophila melanogaster* im Windkanal, Highspeed-Aufnahme 2006 (Bitmap-Bild).

einer Sekunde ein Testmuster dargeboten, das in ihr den Eindruck einer höheren oder niedrigeren Geschwindigkeit hervorrief. Das als Reaktion auftretende Flugmanöver wurde mit einer Hochgeschwindigkeitskamera vermessen, die seitlich die Ausrichtungen der Körperachse und der Flügel mit 1000 Bildern pro Sekunde aufnimmt. Die Echtzeit-Performance des *Trackit*-Systems mit der synchronen Präsentation einer virtuellen Umgebung und gleichzeitiger Vermessung von Körper- und Positionsveränderungen wurde realisiert, in dem aus prozessökonomischen Gründen nur kleine relevante Felder der Hochgeschwindigkeitsbilder ausgelesen und als numerische Werte an den Rechner weitergegeben wurden. Die Bilddaten löschte das System unmittelbar danach, um keine Übertragungsverzögerungen durch Speichervorgänge zu verursachen.

Die im Archiv vorgefundenen Videogramme der *Drosophila* sind Reste der Kalibrierung des Systems. Sie dokumentieren die letzte Phase der Vorarbeit der Justierung der einzelnen medialen Komponenten. Den Fliegenaufnahmen gingen zahlreiche *Trackit*-Versuche mit kleinen, im Luftstrom flatternden Objekten voraus, die die Kamera im Bildzentrum fixieren sollte. Nach rund zwei Jahren war das Set-up in der Lage, den Versuchstieren eine »natürliche« Umgebung zu präsentieren. Erst nach der Stabilisierung der technologischen Vorgänge und deren Abgleichung mit dem Tierverhalten konnten die Messreihen in Angriff genommen werden.¹⁵

In kulturellen und gesellschaftlichen Perspektiven betrachtet, zeigen die visuellen Aufnahmen und mehr noch ihr Aus-dem-Prozess-Fallen und Verschwinden, Aspekte einer Entmaterialisierung digitaler Forschungsarbeit auf. Einerseits finden viele der Vorgänge in Blackboxes statt, deren innere Prozesse der Wahrnehmung entzogen sind. Wir nehmen Teile der Materialität dieser Geräte zwar physisch wahr, etwa ihre Abwärme und die Ventilatoren, die diese abführen. Auf der Ebene des Codes andererseits, selektionieren Filteralgorithmen bereits während den Aufnahmen Signale mit wissenschaftlicher Relevanz, die aufgehoben und weiter verarbeitet werden. Nicht vorgesehene Signale löscht das Programm im gleichen Schritt. Damit entfallen Aufzeichnungen wissenschaftlich irrelevanter Materialien, genauer: die Spuren des Arbeitsprozesses. Gerade diese unbeachteten Reste sind es, die künstlerische Verfahren retrospektiv so wenden können, dass sie die ästhetischen und materiellen Herstellungsbedingungen von Erkenntnis im Experiment, etwa das individuelle Tier, Gesten des Experimentators, das Abgleichen von Medien und Tieren, konkrete Räume, Objekte und Lichtverhältnisse zeigen. Sie geben Einblick, in die Organisation und Interaktionen des »Kollektivs« im Experimentalsystem und machen erkennbar wie sich dessen Elemente konfigurieren.

¹⁵ Zu den Forschungsfragen und Versuchsanordnungen s. Kapitel Experimentalsysteme in: Hannes Rickli (Hg.): Videogramme: Die Bildwelten biologischer Experimentalsysteme als Kunst- und Theorieobjekt, Zürich 2011, S. 155–291.

Als wesentlichen Aspekt führen diese Spuren auch die Zeitlichkeit ihrer Entstehung vor. Mit dem Verschwinden des Materials geht für Laien ein Verlust von Möglichkeiten eines Einblicks in zeitgenössische Forschungspraktiken einher.¹⁶ Die Lücke – das Zeigen des Prozesses anstelle der Vorführung von Resultaten – kann weder von den Forschenden noch von der Wissenschaftskommunikation aufgefüllt werden. Der Frage, wie die Arbeit der Wissenschaften beschaffen ist geht der Wissenschaftsforscher Christoph Hoffmann nach und stellt fest, dass wir uns in einer ›verwissenschaftlichten‹ Gesellschaft den Wissenschaften gegenüber irgendwie »verhalten« sollten, auch wenn wir oft zu wenig Kenntnisse und Einsichten in ihre Aussagen oder Ergebnisse haben.¹⁷

Mit sich verändernden Materialitäten beschäftigte sich Mitte der 1980er-Jahre der französische Philosoph Jean-François Lyotard im Licht neuer Kommunikationsmedien. So richtete er im Centre Pompidou in Paris 1985 die philosophisch-künstlerische Ausstellung *Les Immatériaux* ein, die hauptsächlich aus Diskussionen und flüchtigen Manifestationen bestand. Das Anliegen war, »Sensibilität gegenüber dem Aufkommen neuer Materialitäten und besonders der Telekommunikationstechnologien wie zum Beispiel dem französischen Online-Bildschirmtext-Dienst Minitel zu wecken«.¹⁸ Die Kunst, so Lyotard in *Philosophie und Malerei im Zeitalter ihres Experimentierens* »besteht heute in der Erkundung von Unsagbarem und Unsichtbarem, man stellt dafür seltsame Maschinen auf, mit denen sich das, was zu sagen die Ideen und was zu spüren die Stoffe fehlen, vernehmbar und spürbar machen lässt«.¹⁹ Zur Untersuchung der Materialität von Messgeräten und Forschungsinfrastrukturen installierte das Kunstprojekt *Computersignale* in einer Unterwasserbeobachtungsstation der Gruppe Philipp Fischer an der Küste der Arktischen See vor Spitzbergen eine ›seltsame Maschine‹, die mit eigenen Sensoren nicht die Natur sondern die elektrischen und elektronischen Emissionen der beteiligten Beobachtungs- und Messgeräte wie Stromversorgung, Fotokamera, Bordcomputer etc. ›belauert‹. Die aufgezeichneten Signale sendet sie als Audiodaten via

¹⁶ In gewisser Weise geht auch die Möglichkeit verloren, die Aufzeichnungen reversibel zu halten. In Fry's Anordnung kommt man von den gespeicherten Daten nicht mehr zurück zur Fliege im Windkanal, etwa, wie sie gerade mit den Flügeln zuckt: die Latoursche Kette der Übersetzungen ist nur noch teilweise zurück verfolgbar. Vgl. Bruno Latour: *Der Berliner Schlüssel*, Berlin 1996, S. 237 ff. (Den Hinweis auf diesen wesentlichen Unterschied zwischen digitalen und analogen Praktiken verdanke ich Christoph Hoffmann.)

¹⁷ Christoph Hoffmann: *Die Arbeit der Wissenschaften*, Zürich/Berlin 2013, S. 45.

¹⁸ Yuk Hui: *Einige Fragen, das Verhältnis von Materie und Relation betreffend*, in: *Zeitschrift für Medienwissenschaft ZfM*, Heft 12 2015, S. 165–170, hier 169. Vgl. auch Yuk Hui und Andreas Broeckmann (Hg.): *30 Years after Les Immatériaux*, Lüneburg 2015.

¹⁹ Jean-François Lyotard: *Philosophie und Malerei im Zeitalter ihres Experimentierens*, Berlin 1986, S. 70.

Internet nach Zürich. In Form einer teilnehmenden »technischen« Beobachtung exploriert das Projekt Möglichkeiten, Materialitäten und Infrastrukturen sinnlich nicht wahrnehmbarer Vorgänge der Forschungsprozesse als physische Spur ihrer Arbeit zu dokumentieren. Im Zusammenhang dieser Erkundungen zeigt sich, wie an der biologischen Erkenntnisgewinnung neben den konzeptuellen Fragestellungen die eingesetzten Medien und industriell vorangetriebene technologische Standards in Verbindung mit deren Infrastrukturen mitarbeiten, Ressourcen binden und so in gewissem Sinn den Ausgang der Forschungen mitbestimmen. Zusätzlich stellt sich die Frage nach der agentuellen Rolle der Materie ein, die in verschiedenen Formen von Energie wesentlich Anteil nimmt am Wissensprozess.

4. Das Seekabel

Der Unterwasserstation *RemOst* (Remote Observation System) bin ich im Sommer 2005 zum ersten Mal im Bodensee bei Konstanz begegnet, wo sie die Verstecke junger Barsche beobachtete und fotografierte. Inzwischen ist sie mit der Arbeitsgruppe des Fischökologen Philipp Fischer nach Helgoland in die Nordsee migriert und für den Einsatz im Salzwasser umgerüstet worden. Seit einiger Zeit arbeitet sie in der Arktis vor Spitzbergen ungefähr tausend Kilometer vom Nordpol entfernt. Zur Langzeiterhebung von Umweltveränderungen in Habitaten von Meereslebewesen ist die *RemOst* in Küstennähe abgesenkt und vermisst mittels eines halbstündig aufgenommenen stereometrischen Bildpaars die Entwicklung von Flora und Fauna, die einen in den Kongsfjord vor Ny-Ålesund hineinragenden Bereich des Ufers besiedeln. Via Internet nach Helgoland übertragen, werden später die in den Bildern enthaltenen Organismen ausgezählt und in ihrer Größe registriert.²⁰

Als bildender Künstler untersuche ich die elektrische und digitale Arbeit von Medien und Infrastrukturen in der ökologischen Forschung. Wie kann diese Arbeit beobachtet werden, wenn sie einerseits der Sichtbarkeit unter Wasser entzogen ist und zusätzlich in Blackboxes digitaler Messgeräte, Switches und virtuellen Rechnern stattfindet? Welche Rollen spielen die Elektrizität und ihre Verfügbarkeit in entlegenen Weltgegenden, was ist das elektrische Gestaltungspotenzial, das die Forschung einerseits ermöglicht und andererseits begrenzt?

²⁰ Der Prototyp der Datenplattform *RemOst* ist ein Teil des europäischen Grossprojekts COSYNA (Coastal Observing System for Northern and Arctic Seas), einem im Aufbau begriffenen umfassenden Beobachtungs-System zur Erfassung, Vorhersage und wissenschaftlichen Analyse des aktuellen Zustandes und der Entwicklung der Küsten der Nord- und der Arktischen See, unter: www.cosyna.de (08.04.2016).

Um die Arbeitsprozesse der Unterwasserstation in den Bereich der menschlichen Wahrnehmung zu verschieben, setzte meine Mitarbeiterin, die Künstlerin und Informatikerin Valentina Vuksic, zusammen mit dem Elektroniker Peter Meyer im März 2012 in der Werkstatt des Alfred-Wegener-Instituts auf Helgoland (Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung) Audiosonden in das Gerät ein, bevor es nach Spitzbergen verschifft wurde. Ähnlich wie beim Abhören innerer Vorgänge in Organen mittels Stethoskop haben wir mit Induktionsspulen neuralgische Stellen ermittelt, an denen die elektronische Aktivität der Geräte elektromagnetische Felder produziert. Entsprechende Wandler greifen die Schwingungen als akustische Signale ab. Zur Aufzeichnung des Stromverbrauchs nutzen wir einen eigens angelegten *Bypass* in der Geräteverkabelung. Die elektromagnetischen Schwingungen der digitalen Prozesse und die lastbedingten Schwankungen der Stromversorgung machen Ruheroutinen als Zustände feinstrukturierten Rauschens wahrnehmbar. Von diesen Geräuschen einer ganzjährlich auch während des Polarwinters stattfindenden Geschäftigkeit unterscheiden sich die Auslösemomente der Stereometriebild-Kameras sowie der anschließende Datenupload der Bilder über den Bordcomputer ins Alfred-Wegener-Institut nach Helgoland. Zusätzlich überträgt ein Kontaktmikrophon mechanische Vibrationen des Gehäuses und Schläge der Auftriebskörper im aktuellen Wellengang. Die insgesamt fünf Audiosignale nimmt ein autonomer Minicomputer (*Gumstix*) via Soundkarten auf und schickt die Daten zusammen mit den Bildern an einen Server des Kunstprojekts nach Zürich.

Den elektrischen und elektronischen Aktivitäten von Geräten und Infrastrukturen in Form ihrer physischen Emissionen »zuzuhören« bedeutet, aus dem Winkel der Geräte selbst auf die Arbeit der Datenerhebung und -distribution zu blicken. Im Vordergrund stehen nicht die Semantik intendierter logischer Operationen eines Algorithmus, sondern die meist ungehörten Mikro-Temporalitäten des elektrischen Signals in Prozessoren während dessen Ausführung. Das »sonische« Potenzial verweist auf die materiellen Prozesse digitaler Datenarbeit und macht sie wahrnehmbar. Das Konzept des Künstlers und Medienwissenschaftlers Shintaro Miyazaki benennt diese physischen und temporalen Qualitäten der elektronischen Welt in einer Wortschöpfung als »algorithythisiert«.²¹ Die während der Signalverarbeitung unabsichtlich auftretenden physischen Emissionen der sogenannten »Seitenkanäle« werden im Computer Engineering »Traces« genannt und spielen vor allem in der Cyberkriminalität und bei Sicherheitsdiensten eine Rolle. Für das Kunstprojekt *Computersignale* stellen sie die Möglichkeit dar, das Konzept der Spur, das anhand analoger Videoaufzeichnungen zur Darstellung der materiellen Kon-

²¹ Vgl. Shintaro Miyazaki: *Algorithythisiert. Eine Medienarchäologie digitaler Signale und (un)erhörter Zeiteffekte*, Berlin 2013.

texte und Konfigurationsverhältnisse des Experimentierens entwickelt wurde, im Digitalen weiter zu denken.

RemOs1 wurde im Juni 2012 an der Westküste Spitzbergens auf eine aus der Ferne variierbare Wassertiefe von ein bis zwölf Metern abgesenkt und durch eine fest installierte Strom- und Glasfaserleitung mit der Landstation verbunden. Nach einer Experimentierphase wurde sie revidiert und am 15. September 2012 erneut unter Wasser gebracht. Seit diesem Datum speichert das Kunstprojekt ca. 30 Giga-byte Audio- und Bilddaten pro Tag. In einer vom Beginn der Bildproduktion bis heute archivierten Serie wissenschaftlicher Stereometriebilder sind schwarze Lücken erkennbar. Sie entstehen aufgrund von leichten Verschiebungen in der Synchronisation der beiden Stereometriebild-Kameras mit dem Blitzlicht oder durch mittel- und langfristige Strom- und Datenübertragungsausfälle. Diese verweisen auf die prekären technischen Bedingungen und Umweltverhältnisse, in denen die Forschung stattfindet. Die unterschiedlichen Helligkeiten der Bilder zeigen den Seegang an aufgrund des aufgewirbelten *marine snow* (kleinste organische Partikel im Wasser), der in bewegter See heller vom Blitzlicht reflektiert wird. Ebenfalls sichtbar sind Bilder, die in der Werkstatt während Reparaturen oder zu Kalibrierungszwecken aufgenommen wurden.²²

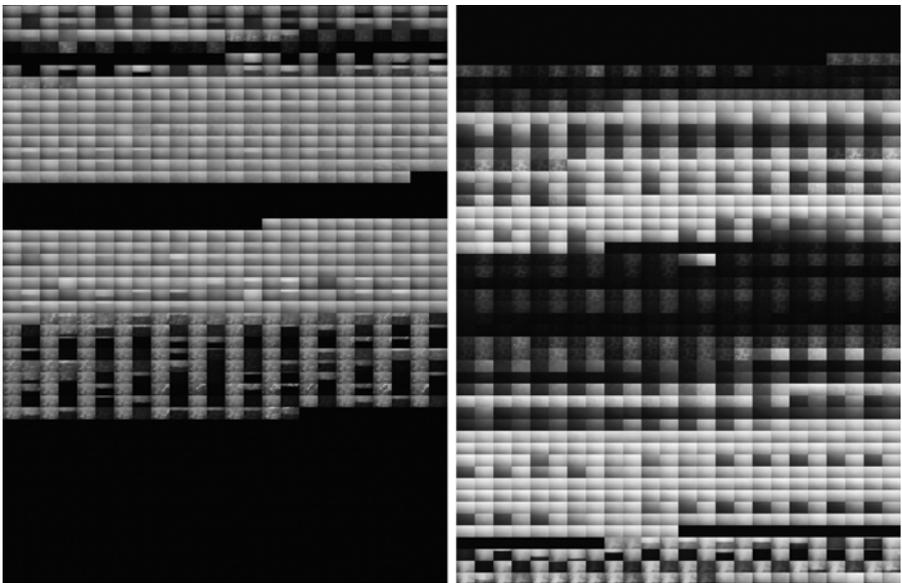


Abb. 3: *RemOs1*, Miniaturen von 2.400 Stereometrie-Bildpaaren, aufgenommen während 25 Tagen vom 18.7.2014, 15:00:31 bis 12.8.2014, 13:01:16..

²² Vgl. Audio- und Bilddokumente unter: <http://computersignale.zhdk.ch/> (04.05.2016).

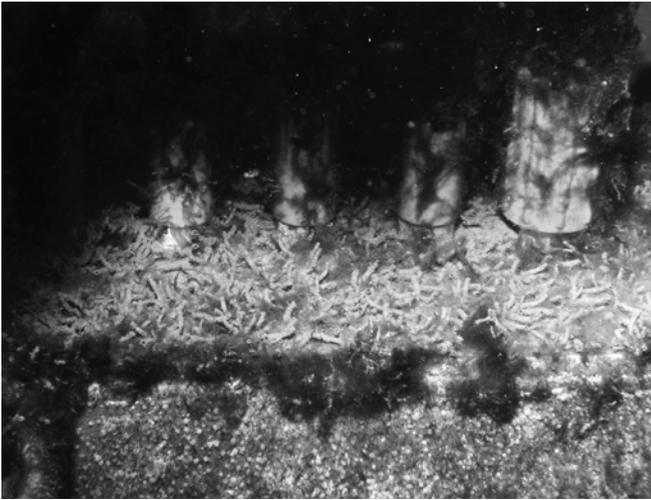


Abb. 4: *RemOst*,
Stecker von Strom-
und Datenleitungen
am Hauptgehäuse
des Observatoriums,
25. 5. 2013.

Die Elektrizität ermöglicht einerseits die ökologische Forschung, deren Basis während des ganzen Jahres halbstündlich aufgezeichnete Bildpaare sind, andererseits ist sie durch materielle Umweltprozesse ständig gefährdet. Korrosion etwa, die im Salzwasser in Verbindung mit Elektrizität auftritt, führt zu Kurzschlüssen in der am Meeresboden fest verankerten *Breakout-Box* (Steckdose) oder in Apparaten, deren Gehäuse durch die Umweltbelastungen undicht geworden sind. Neben weiteren Umwelteinflüssen wie Stürmen²³ oder Eisbergen arbeiten an der Bildproduktion auch biologische Aktivitäten mit: Algen und andere Organismen besiedeln innerhalb kurzer Zeit die Sichtfenster der Kameras oder des Blitzlichts und verursachen Verfärbungen und Verschattungen der Fotografien. Diese Effekte greifen in die wissenschaftliche Datenerhebung ein und erzeugen Unschärfen in den Messreihen. Jedoch als Spur des Herstellungsprozesses der Datenarbeit betrachtet, machen sie den materiellen Kontext deutlich, in dem dieser stattfindet. Die in der Umwelt und auch im wissenschaftlichen Messapparat selbst ›tätige‹ Materie ist nach Karen Barad »[...] Substanz in ihrem intraaktiven Werden – kein Ding, sondern eine Tätigkeit, eine Gerinnung von Tätigsein. Materie ist ein stabilisierender und destabilisierender Prozess schrittweiser Intraaktivität.«²⁴ Sie ist integraler Bestandteil der wissenschaftlichen Praxis und untrennbar mit ihren Apparaten verwoben.

²³ In der Perspektive einer politischen Ökologie blickt Jane Bennett auf die Vitalität von Materie und Dingen wie Verbrauchsgüter oder Stürme, die es diesen erlaubt, »to act as quasi agents or forces with trajectories, propensities, or tendencies of their own«. Jane Bennett: *Vibrant Matter: A Political Ecology of Things*, Durham/London 2010, S. VIII.

²⁴ Karen Barad: *Agentieller Realismus*, Berlin 2012, S. 40.

Die Bioaktivität überträgt sich unmittelbar nach dem Einsetzen der Kapsel im Fjord in Form einer Besiedelung des Observatoriums durch verschiedene Organismen auf die künstliche Struktur. Auf den Gehäusen bildet sich zunächst eine Art Belag aus Bakterienrasen und Mikroalgen die auch glattere Flächen (z. B. Metalle) als Haftsubstrat nehmen. Dort setzen sich sogenannte ›Grazer‹ ab, Tiere, die die Schicht abweiden. Auf der Abbildung 4 sieht man Polychätenröhren, Wohnröhren von kleinen Würmern, die sie zu ihrem Schutz aus Kalk bauen, der an die Unterfläche zementiert wird. Dies schafft auf der früher glatten Oberfläche genügend Rauheit, so dass sich auch weitere Pflanzen und Tiere dort ansiedeln. Diese Art der Besiedelung wird ›Sukzession‹ genannt und das Studium, welche Organismen sich wann wo und in welcher Reihenfolge ansiedeln, gibt Aufschluss über die Abhängigkeitsverhältnisse und somit auch darüber wie ein Nahrungsnetz aufgebaut ist.

Das Verfahren des *remote sensing* in der ökologischen Forschung auf Spitzbergen ist internetbasiert, die Daten zirkulieren in weltweit verlegten terrestrischen und submarinen Glasfaserkabeln. Die internationale, vom norwegischen Staat verwaltete Forschungsstation Kings Bay im Ort Ny Ålesund, wo die langzeitliche Küstenbeobachtung stattfindet, ist im Mai 2015 mit einem eigenen Seekabel an die Hauptstadt des Archipels, Longyearbyen, angeschlossen und dort mit dem globalen Netz verbunden worden. Das Kabel erübrigt auf der einen Seite im Energiehaushalt der Datenübertragung den ökologisch kritischen Verbrauch von 8000 Litern Diesel pro Jahr für den Betrieb einer Funkstation, die bisher die Daten via Satellit nach Longyearbyen sendete.²⁵ Auf der anderen Seite ist es als Forschungsinfrastruktur des *Echtzeit-Monitoring* auch fester Bestandteil des Internets, dessen massive Infrastrukturen auf einer tiefer liegenden Stufe wiederum von meist fossilen Brennstoffen abhängen, die die Energie zur Kühlung von Serverfarmen und zum Transport von Material und Unterhaltsarbeitern zu den Infrastrukturen liefern. So gesehen wird die Natur selbst zur »ultimativen Infrastruktur«.²⁶

Die aus der teilnehmenden ›technischen‹ Beobachtung der *RemOsi* in der Arktischen See gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen veranlasste die Untersuchung der Materialität der an die Bioinformatik angeschlossenen Forschungen des

²⁵ Gemäß der Organisation *Uninett*, eine Non-Profit-Organisation des norwegischen Bildungsministeriums, die in Zusammenarbeit mit der britischen Firma *Global Marine* das Kabel verlegte. Vgl. Uninett: Arctic Optical Network, unter: <https://www.terena.org/activities/netarch/ws3/slides/121114-artic.pdf> (30.05.2016).

²⁶ Nicole Starosielski: Fixed Flow. Undersea Cables as Media Infrastructures, in: Lisa Parks und Nicole Starosielski (Hg.): Signal Traffic: Critical Studies of Media Infrastructures, Chicago 2015, S. 53–70, hier S. 54.

Hans Hofmann Lab an der University of Texas in Austin. Während die Fragen der Energieversorgung und deren technische Bewältigung in der Arktischen See prekär sind, stellen sich diese Aspekte an der University of Texas anders dar.

5. Die Pipeline

Sowohl die Forschung vor Spitzbergen wie auch die Forschung in Austin sind räumlich aufgeteilt und überbrücken Distanzen via Internet und lokale Netzwerke, jedoch auf unterschiedliche Weisen. Philipp Fischers Labor liegt 10.000 Kilometer von seinem Objekt entfernt. Er ist damit über ein Seekabel verbunden, durch das er das Unterwasserobservatorium kontrolliert und steuert sowie die erhobenen Daten abholt.

Die Forschungen in Austin haben einen Referenzpunkt in Kigoma am ostafrikanischen Tanganjikasee woher der untersuchte Modellorganismus Afrikanischer Buntbarsch (*Astatotilapia burtoni*) stammt. Dort führt die Arbeitsgruppe alle paar Jahre Feldforschungen durch, um die Labordaten zu überprüfen. Anhand des Buntbarschs und weiteren Tierarten untersucht das Hofmann Lab die hormonalen und genetischen Mechanismen, die dem Sozialverhalten und seiner Evolution zugrunde liegen. Die *Fish Facility*, in deren Aquarien etwa das Verhalten des Weibchens bei der Männchenwahl beobachtet wird, liegt im Kellergeschoss des *J. T. Patterson Labs Building (PAT)*. Auf der dritten Etage finden die molekularbiologischen Vorbereitungen der Hirnproben von Buntbarschweibchen statt sowie deren Lagerung in einem Gefrierschrank bei einer Temperatur von -80°C . Diese Bereiche gehören dem *wet lab* an. Ab diesem Punkt beginnt das *dry lab* der Bioinformatik. Teile der Proben werden von einem DNS-/RNA-Scanner sequenziert, der in der von mehreren Forschungsgruppen gemeinsam betriebenen *Genomic Sequencing and Analysis Facility (GSAF)* auf der gegenüberliegenden Straßenseite steht. Die anfallende große Menge an Rohdaten überträgt das interne Netzwerk auf einen Server des *Center for Computational Biology and Bioinformatics (CCBB)* im Erdgeschoss des *PAT*. *CCBB* entwickelt Analyseprogramme im *Gates Dell Complex (GDC)* in der Nähe des Laborgebäudes. Mit diesen Programmen werden die Rohdaten in vielen Rechendurchgängen im Supercomputer Stampede des *Texas Advanced Computing Center (TACC)* auf dem *J. J. Pickle Research Campus* außerhalb der Stadt weiterverarbeitet.

Allen diesen Gerätschaften unterliegen massive Infrastrukturen. Sichtbar sind auf dem Universitätscampus die sogenannten *Chilling Stations*, mehrstöckige als Kühlaggregate ausgebauten Architekturen. Ein permanenter Kreislauf pumpt Wasser in das Dachgeschoss. Von dort regnet es ab, während ihm Ventilatoren nach und nach die Wärme entziehen. Dieser Vorgang geschieht so oft, bis das Wasser 6°C er-



Abb. 5: *Chilling Station #6*: (rechts) mit Blick auf den Campus der UT Austin (Videostill).

reicht und ins Kühlleitungsnetz eingespeist wird. Die Kühlung der elektronischen Geräte, die bei ca. 14°C arbeiten, stellt eine der größten Herausforderungen an die Energieressourcen im Klima von Austin dar, dessen mittlere Jahrestemperatur ca. 25°C beträgt und im Sommer weit über 40°C steigen kann. Auf dem Gelände steht das 140-Megawatt-Heizkraftwerk *Hal C. Weaver Power Plant*, das unabhängig vom öffentlichen Stromnetz die Elektrizität produziert für den Betrieb und die Kühlung von Maschinen der verschiedenen Unternehmungen der *Hard Sciences* auf dem Campus. Betrieben wird es mit Erdgas, das unter anderem auf den eigenen Ölfeldern des *University of Texas System* im Nordwesten gefördert und über ein ausgedehntes Pipelinenetz rund 600 Kilometer nach Austin transportiert wird.²⁷

Zum materiellen Kontext der Bioinformatik in Austin tragen ebenfalls die (wenn auch nicht immer offensichtlichen) Verbindungen zur Wirtschaft und im speziellen zur Computerindustrie bei. So hat etwa die Ehefrau des Microsoft-Erfinders Bill Gates, Belinda Gates, das neu erstellte Gebäude für *Computer Science* auf dem Campus gestiftet, in welchem das *CCBB* untergebracht ist. Oder die

²⁷ <http://www.utlands.utsystem.edu/> (09.06.2016). Die USA stiegen in den letzten Jahren unter führender Mitwirkung von Texas zum weltweit größten Erdöl- und gasförderer auf u. a. aufgrund umstrittener Fracking-Methoden. Inzwischen ist die texanische Produktion wegen des Zerfalls des Öl- und Gaspreises wieder auf ein Drittel von 2014 gesunken.

Firma *Dell Computer*, die vom Alumnus der UT Austin Michael Dell gegründet wurde, liefert die Komponenten, aus denen der Supercomputer *Stampede* zusammengebaut ist.

Im August 2014 hat das Kunstprojekt *Computersignale* die Materialität der Geräte und Infrastrukturen, mit denen das Hofmann Lab arbeitet, untersucht und die Arbeit *Cichlid #3, Soundscape Texas* produziert. Es ›hörte‹ den akustischen und elektromagnetischen Wellen zu, die während ihrer Arbeit ausgesendet werden von: einem Aquarium, dem -80 °C-Gefrierschrank, dem DNS-/RNA-Scanner *Illumina HiSeq 2500*, den Festplatten des CCBB-Servers, den Prozessoren des Supercomputer *Stampede*, dem Regen und Pumpwerk einer *Chilling Station*, dem Kraftwerkgenerator sowie einem Fracking-Bohrturm in Crane County in der Nähe von Odessa, Texas. Die Emissionen der acht Stationen wurden mit einem mobilen internetbasierten Aufnahmesystem synchron während vierundzwanzig Stunden aufgezeichnet. Die Audio- und Videodaten fassen ein Panorama zusammen, das den Arbeitstag des 21. 8. von 00:00:01 bis 23:59:59 dieser Apparate und ihrer Infrastrukturen am 21.8. synchron von 00:00:01 bis 23:59:59 sinnlich erfahrbar macht.²⁸

Anhand verschiedener Formen der Tierbeobachtung habe ich nachzuzeichnen versucht, wie sich die Infrastruktur immer stärker mit einer räumlichen Trennung von Beobachtungs- und Arbeitsorten verbindet. Gleichzeitig stellt die Infrastruktur Möglichkeiten bereit, in Echtzeit am ›anderen Ort‹ präsent zu sein und das Kollektiv beteiligter Akteure virtuell zu steuern und zu kontrollieren. Diese sekundären, meist unsichtbaren Strukturen wissenschaftlicher Unternehmungen re-materialisieren sich im gesteigerten Energieeinsatz. Dies ist auch in Austin der Fall, wo die Forschungsanlagen enger zusammen stehen, jedoch mit entfernten Erdgasfeldern verknüpft sind. Das Kunstprojekt *Computersignale* folgt den Spuren dieser Energie und den materiellen Beteiligungen an der Erkenntnisgewinnung. Es macht sie partiell erfahrbar und fragt danach, ob neben den bestehenden ökologischen, ökonomischen und politischen Energiedebatten neu ein epistemologischer Energiediskurs geführt werden sollte, der die Ermöglichkeiten und Eingrenzungen von Wissenshorizonten unter den Bedingungen technologiebasierter, datengetriebener Forschung ausleuchtet.

²⁸ Link zu Audio- und Videodokumenten sowie zu Websites der erwähnten Infrastrukturen s. Anm. 22.

Bildnachweis:

Abb. 1: https://www.youtube.com/watch?v=JyKZ6_q_SlQ (29. 6. 2016)

Abb. 2: Aufnahme: Steven N. Fry, Institut für Neuroinformatik, ETH und Universität Zürich.

© Steven N. Fry / Hannes Rickli

Abb. 3: Aufnahmen: Philipp Fischer, Biologische Anstalt Helgoland, Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung

© Philipp Fischer / Hannes Rickli

Abb. 4: © Philipp Fischer

Abb. 5: © Birk Weiberg / Hannes Rickli