

in früheren Schwarmbeschreibungen von Bedeutung, vor allem die Spannung zwischen individuellem Verhalten und dem Nutzen eines größeren, sozialen Ganzen sowie die militärischen Assoziationen von Schwärmen. Die Geschichte solcher Schwerpunkte in der Rede von Schwärmen kann unter anderem als Grundlage angesehen werden, die die Beschreibungen von Algorithmen und technischen Drohnen *als Schwärme* erst ermöglicht. Mit Blick auf diese neuen Schwärme und die Annahmen über ihre besonderen Leistungen lautet die Frage daher, wie frühere Ideen aufgegriffen werden, wie diese dabei transformiert werden und welche Aspekte und Eigenheiten von Schwärmen im Zuge dessen vergessen oder fortan als latente Anknüpfungspunkte mitgeführt werden. Dies zeigt sich besonders deutlich, wenn die grundlegenden Theorien digitaler Schwarmintelligenz ihre eigenen biologischen Bezüge und Übertragungen reflektieren.

### 4.3 Swarm Intelligence

Angesichts der langen Tradition von Auseinandersetzungen mit Bienen und Ameisen, die diese mit gesellschaftlichen und politischen Beobachtungen und Wertvorstellungen aufladen, überrascht es wenig, dass staatenbildende Insekten auch in Beschreibungen digitaler, algorithmischer Schwärme ein wichtiger Bezugspunkt bleiben. Auch wenn sich im Rahmen der frühen informations- und simulationswissenschaftlichen Perspektiven auf Schwarmverhalten ein Teil der Aufmerksamkeit zunächst auf Vögel richtete, tauchen Insekten in computertechnischen Zugängen zu Schwärmen immer wieder als Motiv und Beispiel auf. Sie fungieren als Vorbild für neue Entscheidungslogiken, sollen zentrale Aspekte von technischen Schwarmphänomenen veranschaulichen und schreiben sich offenkundig in Bezeichnungen wie die technischer Drohnen ein. In neuen Auseinandersetzungen mit Schwärmen jedoch werden Schwarmtiere und ihr Verhalten entschieden anders wahrgenommen und interpretiert als beispielsweise in den Texten von Hobbes oder Mandeville wenige Jahrhunderte zuvor. Vor einem Hintergrund computer- und medientechnologischer Fortschritte werden Bienen kaum mehr als entomologische Monarchien oder Verkörperung einer naturgegebenen, idealisierten Gesellschaftsordnung konzipiert. Zusammen mit anderen Tierschwärmen stehen sie vielmehr für einen dynamischen Prozess der Koordination und Selbstorganisation. Ihr Verhalten wird nicht länger hinsichtlich einer vermeintlich gesellschaftlich-moralischen Dimension beansprucht, sondern als »multitude of simultaneous actions whose collective pattern is far more important«, wie exemplarisch Kelly (1994, 21) schreibt, wenn er das Verhältnis von Bienen und Bienenstock als Modell dezentraler Organisation und Intelligenz deutet. Dieses Modell, als applizierbares und übertragbares Wissen, markiert für ihn einen Transfer natürlicher Logiken und Vermögen in das Reich der Technologie und umgekehrt eine Technologisierung der Natur. Schwarmverhalten wird dabei umgedeutet von einer primär tierischen Angelegenheit zum Prinzip des Übergangs von autonomen Einzelelementen zu einem koordinierten Ganzen. Es erweist sich als Prozess emergenter Komplexität und Wissen darüber verspricht, diesen Prozess technisch kontrollierbar zu machen.

Ein konzeptioneller Brennpunkt, der im Zentrum dieser Verschiebung im Denken über Schwärme steht, ist die Idee der Schwarmintelligenz. Der Begriff meint hier nicht

nur eines von vielen weiteren Vermögen, die Schwärmen attestiert werden, womit er neben Flexibilität, Kreativität, ihrem Optimierungspotenzial usw. stünde. Schwarmintelligenz stellt vielmehr einen Schwerpunkt derjenigen informationswissenschaftlichen Ansätze dar, die die gegenwärtige Wahrnehmung von Schwärmen und ihre positiven Zuschreibungen erst begründen. Theorien über und auch der Begriff der Schwarmintelligenz sind in diesem Sinne ein wichtiger Schauplatz der von Vehlken hervorgehobenen Transformation und Abstraktion von Schwärmen im Kontext digitaler Medien. Auch ohne einen vollständigen Bruch zu früheren Schwarmbeschreibungen anzunehmen, wird schnell ersichtlich, wie Auseinandersetzungen mit Schwarmintelligenz Wissensfelder miteinander in Beziehung setzen, deren Überlagerungen seither ein wichtiger Ausgangspunkt für viele der technischen, ökonomischen, militärischen und gerade auch politischen Verhandlungen von Schwärmen sind. Als ein solcher Schauplatz soll die Idee der Schwarmintelligenz im Folgenden näher erkundet werden. Geeignet sind hierfür vor allem zwei Grundlagenwerke, die nicht nur, wie zuvor, Übertragungen zwischen tierischen und menschlichen Gemeinschaften leisten, sondern darüber hinaus technische und ebenfalls kognitionstheoretische Fragestellungen eröffnen, die sich seither durch Diskussionen über die Schwarmintelligenz ziehen. Während Kelly eine Perspektive auf Schwärme repräsentiert, die bereits unwiderruflich von computertechnologischen Einflüssen geprägt ist und Schwarmphänomene als Ausdruck einer abstrakten Koordinationslogik begreift, soll in den nächsten Abschnitten ein Moment in Augenschein genommen werden, der noch am Beginn dieser Abstraktion steht und ihren Verlauf mitzuverantworten hat.

## Bottom-up

Der erste Aufsatz, der den Ausdruck »swarm intelligence« einführt, befasst sich interessanterweise weder mit Tieren noch mit Schwarmsimulationen, wie man sie in den Jahren danach verstehen wird. Beni und Wang (1993 [1989]) beziehen ihre Idee von einer Schwarmintelligenz stattdessen auf sogenannte zelluläre Roboter. Dabei handelt es sich um kleine robotische Einheiten, die, ähnlich wie organische Zellen, bedingt autonom und in ihren individuellen Kapazitäten begrenzt sind, in Kooperation mit anderen Einheiten aber größere Aufgaben bewältigen können. Die primäre Analogie besteht hier also nicht zwischen technischen Drohnen und Schwarmtieren wie Bienen oder Ameisen, sondern zwischen den Robotern und der Zellstruktur von lebenden Organismen als solchen. Beni und Wang argumentieren, dass Systeme zellulärer Roboter zu intelligentem Verhalten fähig seien, wobei Intelligenz die Fähigkeit zur Herausbildung von Ordnung und Strukturen in einer nicht vorhersagbaren Weise bedeutet: »We define robot intelligence and robot system intelligence in terms of unpredictability of improbable behavior.« (ebd., 703) Die Interaktionen der thematisierten Roboter können nicht linear vorausberechnet werden, sind jedoch ebenso wenig zufällig. Sie entsprechen einer dynamischen, eigenständigen Anpassung des Verhaltens der Roboter, die auf der Wahrnehmung und Berechnung einer externen Umwelt basiert, ohne vollends durch diese determiniert zu sein. Dieses kollektive Verhalten der zellulären Roboter, ausgerichtet auf ein gemeinsames Ziel hin, identifizieren Beni und Wang als »non-trivial, different form of intelligent behavior« und bezeichnen es als »swarm intelligent«.

So spielen schon zu Beginn der begrifflichen Kopplung von Schwärmen und Intelligenz Dimensionen der Emergenz und Prozessualität eine wichtige Rolle. Ein System ist dann schwarmintelligent, wenn viele einzelne, an sich nicht intelligente Agenten als Kollektiv agieren, um auf einer übergeordneten Ebene ein Ziel zu erreichen. In einem Überblick über die Erforschung künstlicher Intelligenz unterscheiden Arkoudas und Bringsjord (2014) mehrere philosophische Grundlagen der Konzeption und Modellierung von intelligentem Verhalten: Eine wichtige Traditionslinie werde geleitet von einer Vorstellung von Intelligenz als rationalem, individuellem Vermögen und sei im Kontext künstlicher Intelligenz primär in Bezug auf semantische und mathematisch-logische Verfahren und die Entwicklung symbolischer KI von Bedeutung; eine andere werde stärker von behavioristischen, informationstheoretischen und kybernetischen Ansätzen informiert und begreife intelligentes Verhalten als Resultat einer Vielzahl situierter, miteinander relationierter Einzelhandlungen. Beni und Wangs Definition von »swarm intelligence« wäre in dieser Unterscheidung zweifelsohne der zweiten Traditionslinie zuzuordnen. Intelligenz ist bei ihnen nicht zu trennen von Konnektivität, wenngleich sich vor dem Hintergrund der zellularen Roboter die genauen Definitionen beider Begriffe zu verschieben beginnen.

Nachdem sie Schwarmintelligenz ausgehend von zellularen Robotern und ohne Bezüge auf tierische Schwärme definiert haben, schließen Beni und Wang (1993 [1989], 711) mit der Anmerkung, sie sei »likely to be exhibited by a large number of animal societies, e. g. ant colonies.« Sie übertragen ihre Auffassung von Schwarmintelligenz demnach zurück auf tatsächliche Schwarmtiere und fügen hinzu, dass eine technische Umsetzung von schwarmintelligenten Systemen von einer bionischen Perspektive profitieren könne, die das Verhalten schwärmender Tiere mit in Betracht zieht. Während ihr Aufsatz erst den Anfang einer technischen Auseinandersetzung mit Schwarmintelligenz markiert, sollten sie mit dieser Vermutung Recht behalten. In den darauffolgenden Jahren rückten Ameisen und andere Insekten in vielen Auseinandersetzungen über Fragen technischer Schwarmintelligenz in den Mittelpunkt der Aufmerksamkeit. Emblematisch hierfür ist insbesondere ein Werk von Eric Bonabeau, Marco Dorigo und Guy Theraulaz (1999) unter dem programmatischen Titel *Swarm Intelligence*, das einen grundlegenden Bezugspunkt für folgende Forschungsansätze markiert und stark zur Popularisierung des Konzepts beigetragen hat. Das Ziel des Werkes ist es, einen Überblick über das neue Forschungsfeld der Schwarmintelligenz zu geben, wozu einerseits Untersuchungen tierischer Verhaltensmuster und andererseits Untersuchungen technischer Softwareprobleme verhandelt werden. In einer Erweiterung der Perspektive von Beni und Wang begreifen Bonabeau et al. (1999, XI) Schwarmintelligenz als »the emergent collective intelligence of groups of simple agents«, wobei sie die Vorbildfunktion von sozialen Insekten nachdrücklich betonen. Es geht ihnen explizit darum, wie biologische Prozesse als Vorlage für neue Computeralgorithmen fungieren und wie sie Lösungsstrategien inspirieren können, die eine Alternative zu bisherigen Ansätzen liefern:

Researchers have good reasons to find swarm intelligence appealing: at a time when the world is becoming so complex that no single human being can understand it, when information (and not the lack of it) is threatening our lives, when software systems become so intractable that they can no longer be controlled, swarm intelligence offers an

alternative way of designing intelligent systems, in which autonomy, emergence, and distributed functioning replace control, preprogramming, and centralization. (ebd., XI)

Die Muster und Vorgänge tierischer Schwärme sollen folglich auf die Strukturen technischer, schwarmintelligenter Systeme übertragen werden, um so eine Antwort auf Probleme zu geben, die aus den medien- und computertechnischen Entwicklungen Ende des 20. Jahrhunderts resultieren. Dies bedeutet nicht oder zumindest nicht nur eine Virtualisierung des Verhaltens schwärmender Insekten, Vögel und ähnlicher Tierkollektive, ausgehend von ihrer computergestützten Simulation. Bonabeau et al. (ebd., 6–7) sind nicht per se an der Modellierung biologischen Schwarmverhaltens interessiert, ebenso wie sie nicht länger darauf zielen, vermeintliche soziopolitische Idealzustände von tierischen Schwärmen abzuleiten. Sie streben vielmehr danach, Strukturen und Funktionslogiken von Schwärmen herauszuarbeiten, die in anderen Kontexten genutzt werden können. Theorien der Schwarmintelligenz zielen nicht darauf, das Verhalten tierischer Schwärme besser nachvollziehen und verstehen zu können, sondern begreifen sie als Möglichkeit, Logiken und Werkzeuge zu entwickeln, die dann auf verschiedene Weisen operationalisiert werden können.

Kern schwarmintelligenter Systeme, so Bonabeau et al. (ebd., 9–14), sei ihre »self-organization«, das heißt die Fähigkeit, aus einem anfänglich homogenen Zustand heraus raumzeitliche Strukturen zu schaffen, etwa soziale Hierarchien, Organisationsabläufe, materielle Architekturen und dergleichen. Die grundlegenden Aspekte solcher Vorgänge lassen sich kurz zusammenfassen: Self-organisation basiert Bonabeau et al. zufolge auf einer bestimmten Mindestdichte an Interaktionen zwischen kooperierenden Einzelagenten, deren Verhalten sich in ineinandergreifenden Feedback-Prozessen verstärkt oder abschwächt.<sup>22</sup> Als Beispiele dafür wählen sie Honigbienen, die im Zuge der Nahrungssuche, analog zur Nistplatzsuche, andere Bienen mit Schwänzeltänzen affizieren, und Ameisen, deren sich aufaddierende Pheromonspuren etwa Ameisenstraßen hervorbringen – hierzu weiter unten mehr. Außerdem seien Zufälle und Fehler für eine erfolgreiche Selbstorganisation erforderlich, da nur so neue Verhaltensweisen und Lösungsansätze möglich würden. Auf Basis zunächst zufälligen Verhaltens, das durch ausreichend Feedback verstärkt und gefestigt werde, bildeten sich dann auf der Ebene des Kollektivs bestimmte gemeinsame Verhaltensmuster heraus. Es sei dabei durchaus möglich, dass mehrere stabile bzw. meta-stabile Zustände koexistieren, zwischen denen ein schwarmintelligentes System wechseln könne. Auch bei Bonabeau et al. ist in diesem Sinne eine Ebene der Latenz wichtig: das Potenzial von Schwärmen, im Wechselspiel mit ihrer Umgebung verschiedene Verhaltensmuster und Zustände zu manifestieren.

Die Schlüsselposition, die Bonabeau et al. in der Theoretisierung von Schwarmintelligenz einnehmen ist leicht erkannt. Das Vermögen von Schwärmen zur Selbstorgani-

22 Bonabeau et al. (1999, 10) erwähnen an dieser Stelle explizit negatives Feedback. Sie widersprechen damit Horns (2009b, 11–12) Ansicht, dass Schwärme sich vor allem über positives Feedback organisieren und auf negatives Feedback weitestgehend verzichten würden. Der Widerspruch hängt hauptsächlich daran, dass Bonabeau et al. verglichen mit Horn ein breiteres Verständnis von negativem Feedback haben.

sation, das sie im Verlauf ihres Buches an unterschiedlichen Fallbeispielen und Studien weiter explizieren, stellen sie explizit als technische Abstraktion dessen dar, was an Schwarmtieren beobachtbar wird. Ihr Anliegen ist es, die Ähnlichkeiten zwischen tierischem Verhalten und technischen Herausforderungen aufzuzeigen, beispielsweise zwischen der kollektiven Nahrungssuche von Ameisen und dem Routing von Kommunikationsnetzwerken (ebd., 80–106). Dabei begreifen sie Intelligenz als Konsequenz sozialer Interaktion und betonen eine Bottom-up-Struktur von Schwärmen. Bonabeau et al. liefern damit die bionische Perspektive, die Beni und Wang in ihrer Analyse nahelegen, und konzipieren Schwarmintelligenz an der Schnittstelle von Informationstechnologie und Biologie.

Mit Blick auf frühere und spätere Schwarmtheorien sind vor allem zwei Aspekte dieser Auffassung von Schwarmintelligenz bemerkenswert. Erstens ist es die grundlegende Beobachtung, dass der Fokus von Bonabeau et al. auf die Selbstorganisation erneut eine übergreifende Identität von Schwärmen nahelegt, ein schwarmintelligentes ›Selbst‹, das zeitlichen Bestand hat und auf das sich die Selbstorganisation richtet. Trotz der Hervorhebung der hohen Zahl von Einzelagenten, die einen Schwarm ausmachen, und ihrer Bottom-up-Struktur, bleibt die Idee eines Kollektivsubjekts, wie sie die Auseinandersetzungen der vorigen Jahrhunderte prägt, hier weiterhin erkennbar. Anders als bei früheren Beschreibungen von Insektenstaaten jedoch weisen Bonabeau et al. zweitens darauf hin, dass Schwärme verschiedene Zustände und Organisationsmodi aufweisen können, die jeweils für sich stabil bzw. gemeinsam meta-stabil sind. An die Stelle einer einzigen, gegebenen und richtigen Ordnung tritt hier Pluralität. Diese Pluralität auf der Ebene des gesamten Schwarms wird als Resultat des Verhaltens vieler, für sich genommen simpler Einzelagenten begriffen, die auf einer Ebene unterhalb des Schwarms miteinander und mit ihrer gemeinsamen Umwelt interagieren. Die Betonung einer Vielzahl möglicher Zustände, die dennoch alle aus kollektiven Schwarmprozessen hervorgehen, liefert einen weiteren Baustein für eine Abstraktion von Schwärmen und trägt dazu bei, sie als variabel einsetzbares Modell und Regelsatz zu etablieren.

Jene zunehmend abstrakte Sicht auf Schwärme wird wenige Jahre später in einem zweiten grundlegenden Werk zum Thema Schwarzintelligenz weiterverfolgt: eine Publikation von James Kennedy, Russell C. Eberhart und Yuhui Shi (2001), ebenfalls unter dem Titel *Swarm Intelligence*. Ihre Arbeit ist vor allem als Bündelung verschiedener computerwissenschaftlicher, sozialpsychologischer und kulturtheoretischer Forschungen interessant, wobei sie die Verhältnisse dieser Forschungen reinterpretiert und eine Sicht auf Schwarmintelligenz einnimmt, die die Beschreibungen schwarmintelligenter Systeme und Algorithmen seither nachhaltig prägt. Dieses Verständnis von Schwarmintelligenz steht dabei in einem direkten Dialog mit den vorausgehenden Theorien von Beni und Wang, Bonabeau et al. und anderen, ist jedoch deutlich weiter von tierischen Schwärmen entfernt. Erstens stellen Kennedy et al. nicht länger die technologische Aneignung von Logiken der Natur in den Mittelpunkt ihrer Analyse, zweitens beweisen sie ein ausgeprägtes Bewusstsein darüber, dass derartige Aneignungen und Übertragungen keineswegs so linear sind, wie sie in anderen Ansätzen scheinen mögen.

Kennedy et al. behandeln Schwarmintelligenz primär im Kontext sogenannter Partikelschwarmoptimierung (PSO), einem simulationswissenschaftlichen Optimierungsverfahren, dessen Grundlagen sie Mitte der 1990er Jahre entwickelt haben (Kennedy

und Eberhart 1995; Shi und Eberhart 1998). PSO-Verfahren zielen darauf, Lösungen für bestimmte mathematische Problemstellungen und Funktionen zu finden, die einen oder mehrere Parameter optimieren – je nach konkretem Einsatzbereich wäre dies etwa die mathematische Bestimmung der effizientesten Verteilung von Last und Nachfrage in Stromnetzen, des optimalen Durchmessers von Wasserrohren oder der thermisch effizientesten Formen für Maschinenteile. Auch für bestimmte Lernprozesse von KI-Systemen, die daraufhin Bildinhalte bestimmen, Krankheiten identifizieren etc., sind PSO-Verfahren grundlegend.<sup>23</sup> Als »Partikel« werden die unterschiedlichen potenziellen Lösungen einer gegebenen mathematischen Funktion bezeichnet, das heißt die unterschiedlichen Kombinationen von Werten, die Parameter der Funktion annehmen können, beim obigen Beispiel etwa die verschiedenen Durchmesser mehrerer Rohre, der mögliche Wasserdruck usw. Bei PSO-Verfahren wird eine Vielzahl solcher Partikel simuliert, die ihre Werte verändern können und sich in diesem Sinne innerhalb eines mathematischen Suchraums »bewegen«, wobei sie von den Ergebnissen und Bewegungen umliegender Partikel beeinflusst werden. Anders als etwa bei der *Wisdom of Crowds*, bei der ein Durchschnitt aus den einmaligen Schätzungen vieler unabhängiger Agenten errechnet wird (s. Kapitel 3.5), sind PSO-Verfahren ein interaktiver und iterativer Prozess: Die einzelnen Agenten bzw. Partikel, die Kennedy et al. als tendenziell homogen und äußerst einfach konzipieren,<sup>24</sup> wiederholen und modifizieren ihre Lösungsangebote je nach den Ergebnissen der restlichen Partikel. Analog zu einem Vogelschwarm, dessen einzelne Vögel unter wechselseitiger Abstimmung von Distanz, Richtung und Geschwindigkeit ein gemeinsames Ziel ansteuern, bewegen sich auch die mathematischen Partikel gemäß Schwarmverhaltensregeln und tendieren so auf Dauer zu einem gemeinsamen Ergebnis: der optimierten Lösung des gegebenen Problems.

Bemerkenswerterweise gingen die ersten PSO-Algorithmen aus dem ursprünglichen Vorhaben hervor, die Bewegungen von Vogel- und Fischeschwärmen zu modellieren. Doch während die Bezeichnung »Partikelschwarmoptimierung« vor diesem Hintergrund naheliegend erscheint, begründen Kennedy et al. (2001, XIX) ihre Wahl des Schwarmbegriffs über eine Abgrenzung von jenen klassischen Tierkollektiven: »As the programs evolved from modeling social behavior to doing optimization, at some point the two-dimensional plots we used to watch the algorithms perform ceased to look much like bird flocks or fish schools and started looking more like swarms of mosquitoes. The name came as simply as that.« Nicht Vorüberlegungen über Vögel oder Fische, für deren Gruppierungen im Englischen auch alternative Ausdrücke vorliegen, regen Kennedy et al. an, ihre Algorithmen als Schwärme aufzufassen, sondern die Beobachtung, dass die Visualisierungen ihrer Algorithmen an das Verhalten unübersichtlicher Insekten Schwärme erinnern. Abseits eines historisch bereits angelegten Interesses an den

23 Für einen Überblick über die Weiterentwicklungen und diversen Einsatzbereiche von PSO-Verfahren vgl. Zhang et al. (2015).

24 In diesem Punkt widersprechen Kennedy et al. explizit der Ansicht von Bonabeau et al.: »Bonabeau et al. define swarm intelligence as »the emergent collective intelligence of groups of simple agents.« We agree with the spirit of this definition, but prefer not to tie swarm intelligence to the concept of »agents«. Members of a swarm seem to us to fall short of the usual qualifications for something to be called an »agent«, notably autonomy and specialization. Swarm members tend to be homogeneous and follow their programs explicitly.« (Kennedy et al. 2001, XIX).



kollektiven Strukturen tierischer Schwärme, bleibt der Schwarmbegriff hier somit stark an das grundlegende visuelle Rauschen von Schwarmphänomenen geknüpft.

Der resultierende Schwarm, den Kennedy et al. vor Augen haben, ist folglich etwas anderes als die Schwärme der früheren Ansätze. Er wird nicht als Nachbildung, Simulation oder Wiederholung tierischen Schwarmverhaltens in einem nun technischen Medium begriffen, sondern als primär mathematischer, regelhafter Prozess, von dem Tiereschwärme ausdrücklich nur noch ein möglicher Fall sind: »an insect swarm is a three-dimensional version of something that can take place in a space of many dimensions – a space of ideas, beliefs, attitudes, behaviors, and the other things that minds are concerned with, and in spaces of high-dimensional mathematical systems« (ebd., XVI). Statt tierische Logiken in technische Kontexte übersetzen und dabei abstrahieren zu wollen, werden Schwärme demnach als immer schon abstrakte Koordinationslogik erkannt, die verschiedenen Systemen zu Grunde liegt. Sie werden freigelegt als Organisationsprinzip einer »population of interacting elements that is able to optimize some global objective through collaborative search of a space.« (ebd., XXVII) Schwärme sind für Kennedy et al. somit ein algorithmisches Verfahren, das innerhalb eines gegebenen Raumes je nach Einzelfall unterschiedliche Kriterien optimieren kann. Die bekannte Verhaltensregel, dass Individuen in Schwärmen versuchen, ihren Nachbarn nahe zu bleiben und folglich auf ein gemeinsames, bewegliches Zentrum hinstreben, wird als Suche nach einem gemeinsamen, mathematischen Optimum verstanden und soll so erklären, wie Kollektive überaus simpler Elemente intelligentes Verhalten generieren können.

Es ist kein Zufall, dass Kennedy et al. in diesem Kontext trotz ihres abstrakten Schwarmbegriffs von einer »Population« (ebd.) schreiben und sowohl die biologische als auch die statistische Bedeutung des Begriffs in Anspruch nehmen. Zwar entfernen sie sich von konkreten tierischen Schwärmen und ihrer Materialität, auf konzeptioneller Ebene jedoch verfolgen sie an vielen Stellen ihrer Ausführungen eine Verschränkung von (evolutionär-)biologischen und auch psychologischen Theorien mit computertechnologischen Prozessen. So weisen Kennedy et al. etwa mit Rückgriff auf diverse ethologische und sozialpsychologische Forschungen darauf hin, dass Prozesse der Informationsverarbeitung bei Tieren und Menschen stets von äußeren Umständen und ebenso von gesellschaftlichen Faktoren bedingt sind, die die Auswahl, die Wahrnehmung, die Bedeutung usw. von Informationen modifizieren. Auf dieser Grundlage erarbeiten Kennedy et al. (ebd., 96) ein Verständnis von Kognition als »a function of collective adaptive search«, einer kooperativen Suchoperation, die sich im Kern mathematisch beschreiben lässt. Die kognitiven Leistungen von Organismen werden daraufhin als natürliche Form von Komputation lesbar (ebd., 264). Auch die entscheidende Größe der Intelligenz bestimmen Kennedy et al. als das Vermögen, unter wandelbaren Umständen ein Ziel zu erreichen, und damit als Fähigkeit der Adaption an eine Umwelt. Diese Fähigkeit gehe aus den Interaktionen distributierter Teilprozesse hervor und sei in diesem Sinne ein sozialer Prozess. Für Kennedy et al. ist Intelligenz in diesem Sinne nicht nur eine immer auch soziale Größe, sie ist zudem, ebenso wie der Verstand, nicht notwendig an Menschen, Tiere oder überhaupt lebende Organismen gebunden: »To us, a mind is a mind, whether embodied in protoplasm or semiconductors, and intelligence is intelligence. The important thing is that minds arise from interaction with other minds.« (ebd., XV-XVI) Begriffen als Prozess der Adaption und als Optimierungsvorgang in einem

breiteren Sinn, könne Intelligenz bei menschlichen und nicht-menschlichen Akteuren gleichermaßen auftreten, solange genug individuelle Elemente als Schwarm miteinander interagieren. Neben Kognition und Intelligenz modellieren Kennedy et al. (ebd., 111) auch »thinking as a social phenomenon« und betonen die prinzipielle Einbettung von Denk- und Lernvorgängen in soziale Kontexte.

Im Laufe ihrer Argumentation positionieren Kennedy et al. Schwarmintelligenz auf diesem Wege als Verfahren der Entscheidungsfindung, dessen technisch gezielte Anwendung nicht nur großes Potenzial, sondern auch eine beträchtliche gesellschaftliche und psychologische Relevanz beweist. Vor dem Hintergrund des Optimierungsparadigmas, dem Partikelschwärme unterstehen, rekonzeptualisieren sie Denkvermögen, Kognition und ähnliche Formen der Informationsverarbeitung als kollektive Vorgänge, die ebenfalls auf die Erreichung eines bestimmten Optimums gerichtet seien. Letzten Endes sehen Kennedy et al. (ebd., 283) sogar eine Ähnlichkeit zwischen PSO-Verfahren und den Dynamiken menschlicher Gesellschaften und begreifen dementsprechend auch Kultur als gemeinschaftlichen Optimierungsprozess, in dem Individuen sich gute, wirksame Verhaltensweisen, Ansichten, Überzeugungen etc. von ihren Nachbar:innen abschauen. Wie der Verstand, so sei auch die Kultur »the emergent result of bottom-up processes« (ebd., 324) und diene der Optimierung individueller Kognition und kollektiver Leistung. Das Konzept der Schwarmintelligenz, wie Kennedy et al. es verhandeln, löst Schwärme also nicht nur weiter von tatsächlichen Tieren ab und trägt zu ihrer Abstraktion als mathematisch beschreibbare, kollektive Organisationsprozesse bei; es informiert eine medientechnisch durchdrungene Perspektive auf Schwärme, Intelligenz und ebenso Sozialität und Kultur, die an keinem dieser Begriffe spurlos vorüber geht.

Bevor diese Spuren zurück in die Gegenwart von Schwärmen verfolgt werden, soll einige grundsätzliche Kritik an dieser Theorie der Schwarmintelligenz nicht unerwähnt bleiben. Auch vor einem schwarmtheoretischen Hintergrund ist ihre Neukonzeption von Kognition, Intelligenz etc. nicht alternativlos, wie bereits die Tatsache zeigt, dass Bonabeau et al. sich dem Thema unter deutlich anderen Vorzeichen nähern. Die Perspektive von Kennedy et al. steht offenkundig im Dienst ihrer übergreifenden Argumentation und unter dem Einfluss ihrer Auseinandersetzung mit Partikelschwärmen. Eine Gleichsetzung von allerlei kognitiven Prozessen mit mathematischen Optimierungsproblemen ist jedoch problematisch. Ob wichtige Fragen und Aufgaben, die im Laufe menschlicher Existenzen auftreten, adäquat als Optimierungsprobleme formuliert und zudem als solche *gelöst* werden können, ist fragwürdig – wie optimiert man etwa Zufriedenheit oder die Wahl eines Weihnachtsgeschenks? Gerade wenn kulturelle Dynamiken als Optimierung von Gruppenverhalten gedeutet werden, muss ebenfalls gefragt werden, was für ein Optimum dabei angenommen wird und wer den Maßstab festlegt, mit dem gemessen wird. Selbst bei der grundlegenden Annahme von Kennedy et al., dass schwarmintelligentes Verhalten per se einen Optimierungsprozess darstellt bzw. sich angemessen als solcher abbilden lässt, handelt es sich letztlich lediglich um eine Hypothese.

Zugutehalten kann man Kennedy et al. in diesem Punkt, dass sie sich der Problematik ihrer Argumentation zu einem gewissen Grad selbst bewusst sind. So sprechen sie sich explizit gegen eine Herangehensweise aus, die menschliches Denken und Verhalten ausschließlich mit Blick auf wenige grundlegende Dynamiken zu verstehen sucht. Eine solche reduktionistische Perspektive sehen sie vor allem in bestimmten kognitions- und



neurowissenschaftlichen Ansätzen gegeben, die danach streben, Verstand und Denkvermögen rein durch die Messung elektrischer und chemischer Veränderungen in Gehirnzellen nachzuvollziehen. Dies sei, so Kennedy et al. (2001, 397),

»like trying to predict the weather based on the known behavior of gas molecules. [...] Human conduct may one day be *explained* in terms of neural firings and the organization of the brain, but it will never be *understood* in those terms, just as the weather will never be understood by examining gas molecules.«

Um menschliches Verhalten zu verstehen, sei es stattdessen notwendig, ihr soziales Umfeld, ihre Motivationen, Hintergründe usw. mitzuberücksichtigen. Kennedy et al. wiederholen damit den Grundgedanken, den Philip W. Anderson bereits 1972 in seinem Argument für Emergenz formuliert hat: die Ansicht, dass höhere Größenordnungen und Komplexitätsebenen eigene Dynamiken und Wechselwirkungen entwickeln, die nicht mehr auf die Interaktionen ihrer Elemente reduziert werden können. Die naheliegende Frage, inwiefern sich angesichts dieser Erkenntnis Kognition und Kultur tatsächlich als schwarmintelligente Prozesse modellieren und das Verhalten von Partikelschwärmen durch die Bewegungen ihrer Partikel verstehen lassen, behandeln Kennedy et al. in ihrem Buch bezeichnenderweise nicht. Allerdings weisen sie in einem allgemeineren Sinne darauf hin, dass Phänomene und ihre Beobachtungen stets auf komplexe Weise mit den Modellen und Metaphern verwoben sind, die sie erklären sollen. Ganz in Übereinstimmung mit dem Interesse der vorliegenden Arbeit reflektieren sie, dass Untersuchungsobjekte und ihre Abstraktionen wechselseitig zu ihrer jeweiligen Konstruktion beitragen<sup>25</sup> und problematisieren deren Verhältnis: »What is a feature of a thing, and what features are attributed to the thing in order to expedite explanation and understanding?« (Kennedy et al. 2001, 423) Letzten Endes verhindern diese Reflexionen nicht, dass sich der von Kennedy et al. gewählte Bezugspunkt der Partikelschwärme, zusammen mit ihren Annahmen darüber, in ihr Verständnis von Schwarmintelligenz und damit auch von Kognition und Kultur einschreibt. Was sie jedoch zeigen, ist ein Bewusstsein für die Verschiebung, die Schwärme in Theorien der Schwarmintelligenz erfahren.

## (Duft-)Spuren

Gerade als aufeinanderfolgende Werke können die Auseinandersetzungen mit Schwarmintelligenz von Bonabeau et al. und Kennedy et al. die Entwicklung verdeutlichen, die Schwärme als Phänomen ebenso wie als Konzept Ende der 1990er und Anfang der 2000er Jahre durchmachten. Unter dem Einfluss simulationswissenschaftlicher und informationstheoretischer Forschungen hören Schwärme auf, primär Instanzen tierischer Kollektivkörper zu sein, und beginnen zunehmend, als abstrakte Organisationsformen verstanden zu werden, die sowohl tierische als auch allerlei andere Interaktionen anlei-

25 An anderer Stelle gehen Kennedy et al. (2001, 188) außerdem auf die historische Tatsache ein, dass der menschliche Verstand zu unterschiedlichen Zeiten im Zeichen je unterschiedlicher Operationszusammenhänge konzeptualisiert wurde – etwa als bedingt durch Körpersäfte, Sternkonstellationen, hydraulische und pneumatische Aktivitäten gewisser Drüsen usw. –, wobei die gewählten Metaphern und Denkfiguren oftmals ebenso beschreibend wie forschungsleitend waren.

ten können und deren Analyse die Möglichkeit eröffnet, neue Zusammenhänge gezielt schwarmintelligent zu gestalten. Schwärme tauschen hier zwar nicht vollends ihren tierischen gegen einen nun rein technischen Bezugsrahmen – Insekten bleiben im Kontext der Schwarmintelligenz semantisch und ästhetisch klar relevant und auch die sozialtheoretischen Ideen, die sie seit jeher begleiten, werden von den neuen Ansätzen aufgegriffen und fortgeschrieben. Im Zeichen technischer Operationalisierung und mathematischer Beschreibbarkeit werden jedoch die Dynamiken und Größenordnungen von Schwärmen neu interpretiert und transformiert. So bleibt die Frage des Übergangs zwischen der Gesamtheit und den Einzelelementen von Schwärmen ein entscheidender Punkt, aber der Fokus ihrer Beantwortung verlagert sich von Ideen eines (oftmals politischen) Gesamtwesens auf die Aktivität der kleinen, simplen und mehr oder minder autonomen Bestandteile von Schwärmen.

Allen spezifischen Veränderungen in den Perspektiven auf Schwärme voran, lassen sich Theorien der Schwarmintelligenz in diesem Sinne durchaus als Fortsetzung und Teil der Definitionsarbeit lesen, der Schwärme historisch unterworfen sind. Ähnlich wie im 17. Jahrhundert über die Geschlechterrollen in Bienenstöcken diskutiert wurde und damit je andere Idealisierungen der Insektengesellschaft standen und fielen, so entstanden auch aus den Auseinandersetzungen mit der Schwarmintelligenz unterschiedliche Modelle, Übertragungen, markierte Einsatzbereiche und wurden damit auf ihre Weise Schwärme aus einem hintergründigen Schwärmen herausgelöst. Die Reflexion der eigenen Konstruktionsarbeit, die speziell Kennedy et al. an den Tag legen, beweist in diesem Kontext ein gewisses Gespür für die breite Anschlussfähigkeit der hier angelegten Sicht auf Schwärme. Gerade mit Blick darauf, wie die informationstheoretisch angelegten Ideen über Schwarmintelligenz die anhaltende Rolle von Schwärmen als politisches Motiv beeinflussen und gegenwärtige Annahmen über ihre Sozialität und Kollektivität informieren – dies ist der Schwerpunkt von Kapitel 4.5 –, sollen an dieser Stelle abschließend speziell zwei Aspekte noch einmal eigens festgehalten werden, die in Schwarmbeschreibungen ab den 1990er Jahren zunehmend in den Vordergrund treten.

Erstens handelt es sich um das bereits angesprochene Verständnis von Intelligenz als prinzipiell relationale Größe. Nicht nur bezogen auf Tierschwärme, sondern ausgehend von diesen auch bezogen auf menschliche oder technische Formen der Informationsverarbeitung, wird Intelligenz als etwas neu bestimmt, das aus einem zutiefst sozialen Kontext, aus den Interaktionen, Kommunikationen, Lernprozessen und Wechselwirkungen vieler miteinander verknüpfter Akteure hervorgeht. Intelligenz und speziell intelligentes Verhalten werden nicht länger als interne Vermögen oder Prozesse verstanden und separaten Individuen zugeschrieben, sondern als Folge der Verbindungen vieler Individuen perspektiviert: »Mind is social«, wie Kennedy et al. (2001, XX) prägnant zusammenfassen. Dieses Vorgehen weist offenkundige Parallelen mit diversen Ansätzen auf, die etwa in demselben Zeitraum die Relationalität von sozialen Entitäten und die soziale Bedingtheit von Wissen und Intelligenz thematisieren.<sup>26</sup> Entscheidend für Theorien

26 Exemplarisch können hier Deleuze und Guattari (1992 [1980]), Haraway (1988) und Lévy (1997) genannt werden. Von Ansätzen, die bereits deutlich früher kollektive und soziale Dimensionen intelligenten Handelns diskutieren, sei neben erwähnten behavioristischen und kybernetischen Einflüssen ebenfalls auf Émile Durkheim (2019 [1893]) oder auf das Konzept der Noosphäre ver-

der Schwarmintelligenz ist aber weniger die Beobachtung, dass menschliches Wahrnehmen, Denken, Wissen etc. stets in unterschiedlicher Hinsicht Teil größerer gesellschaftlicher und kultureller Zusammenhänge sind, als vielmehr die Ablösung der Intelligenz von einem traditionellen menschlichen oder überhaupt bewussten Subjekt. Im Kontext von Schwärmen ist Intelligenz das Resultat nicht intelligenter Akteure, sondern der Regeln, die ihr Verhalten und ihre Interaktionen bestimmen. Diese Regeln beinhalten, dass individuelle Elemente einander gegenseitig beeinflussen, also nicht statisch oder voneinander isoliert agieren. Abgesehen von der Befolgung dieser Regeln sind die Vermögen der einzelnen Teile jedoch kaum von Bedeutung. Es ist diese Priorität der koordinativen Logik von Schwärmen, die letztlich nicht auf die schiere Anzahl schwärmender Elemente, sondern vor allem ihren organisatorischen Zusammenhang – ihre Relationalität als solche – abzielt, die auch politische Verweise auf Schwärme im Kontext digitaler Medien auszeichnen wird.

Gekoppelt an diesen Fokus auf Relationalität ist auch der zweite Aspekt, der in den medientechnisch informierten Auseinandersetzungen mit Schwärmen ab etwa den 1990er Jahren an neuer Bedeutung gewinnt. Zusammen mit den internen Zusammenhängen von Schwärmen erscheint auch das Verhältnis von Schwarm und Umwelt in einem anderen Licht. Nicht nur bezogen auf den besagten sozialen Kontext und die Bedingtheit individueller Schwarmelemente, sondern ebenso mit Blick auf Schwärme als Ganzes ist in Theorien der Schwarmintelligenz stets relevant, dass Schwärme mit ihrer Umwelt in Wechselwirkung stehen, ob als konkrete Umgebung von tierischen Schwärmen oder als mathematischer Suchraum, dessen Grenzen und Anforderungen unabhängig von Partikelschwärmen gegeben sind. Bonabeau et al. und Kennedy et al. heben jeweils hervor, wie externe Umstände das Verhalten von Schwärmen rahmen und wie gerade die Wandelbarkeit dieser Umstände die Flexibilität und Anpassungsfähigkeit von Schwärmen zu einer besonderen Leistung macht. Wird das intelligente Verhalten von Schwärmen an dieser Anpassungsfähigkeit gemessen und an ihrem Vermögen festgemacht, ihre Umgebung darüber hinaus zu verändern, raumzeitliche Strukturen zu erschaffen etc., so wird das Verhältnis von Schwärmen zu ihrer Umwelt zum entscheidenden Kriterium ihrer (Schwarm-)Intelligenz.<sup>27</sup> In der Übertragung dieser umweltlichen Dimension von einem primär bio- und ethologischen Kontext in technische und informationstheoretische Zusammenhänge bilden Theorien der Schwarmintelligenz einen wichtigen Teil des Transfers biologischer Modelle und Begriffe in technologische, kulturtheoretische, medientheoretische und weitere Fragestellungen zu Beginn der 2000er Jahre (vgl. Parikka 2008). Insbesondere die Kombination der

---

wiesen. Ein jüngerer Ansatz, der diese Stoßrichtung aufgreift und manche der früheren Elemente weiterentwickelt, findet sich bei Katherine N. Hayles (2017) in Form der »cognitive assemblages«.

27 Es ließe sich in diesem Kontext argumentieren, dass ein Schwarm aus Sicht seiner individuellen Teile ebenfalls eine umweltliche Dimension annimmt. Die Gesamtheit aller ihrer Nachbarn bildet notwendig einen wichtigen Teil der Umgebung einzelner Schwarmelemente. Setzt man mit Theorien der Schwarmintelligenz voraus, dass die Elemente eines Schwarms äußerst simple Agenten sind, die nicht in der Lage sind, die komplexen Relationen des Schwarms und den Schwarm im Ganzen zu erfassen, so wiederholt sich die grundlegende Wahrnehmungsproblematik von Schwärmen folglich auch bei internen Beobachtungsversuchen.

Überkreuzung von Natürlichkeit und Technizität – wobei Natur gestaltbar und Technologie umweltlich wird – und der Priorisierung von Relationalität steht hier in Beziehung mit einer Konjunktur (medien-)ökologischer Gesellschaftstheorien und Semantiken des »environments« (vgl. Hörl 2016; Sprenger 2019a).

Gerade mit Blick auf spätere Schwarmtheorien wird Umwelt im Kontext von Schwarmintelligenz allerdings noch in einer weiteren Hinsicht relevant, nämlich als das Medium, in dem die Kommunikation der Vielzahl an schwärmenden Agenten stattfindet. Ein zentrales Konzept in der Selbstorganisation von Schwärmen, auf das sich sowohl Bonabeau et al. als auch Kennedy et al. und viele weitere Auseinandersetzungen mit Schwarmintelligenz beziehen, ist die Stigmergie. Der Begriff, der 1959 von Zoologe Pierre-Paul Grassé (1959) in Bezug auf Termiten geprägt wurde, bezeichnet einen Prozess indirekter Kommunikation und Koordination: Eine Termitenformt und platziert eine kleine Menge Erde, die sie dabei mit Pheromonen versieht. Andere Termiten werden von diesen Pheromonen angezogen und neigen dazu, ihre Erdmengen in der Nähe der bereits platzierten zu deponieren. Zusammen mit der Erde häufen sich die Pheromone an, was wiederum weitere Termiten anzieht, und auf Dauer entsteht so ein Termitenhügel. Vergleichbare Prozesse begründen auch die Futtersuche von Ameisen – das Entstehen von Ameisenstraßen – oder etwa das Verhalten gewisser Bakterien.<sup>28</sup> Stigmergie meint demnach eine Kommunikation und Koordination von Individuen durch die Veränderung, speziell die Bearbeitung ihrer geteilten Umwelt: »ants change the perceived environment of other ants. [...] the environment serves as a medium of communication.« (Bonabeau et al. 1999, 16) Die Umwelt bzw. Umgebung von Schwärmen gerät demnach als ihre existentielle Grundlage sowie als ihr Kommunikations- und Koordinationsmedium in den Blick.<sup>29</sup>

Legen Auseinandersetzungen mit der Schwarmintelligenz, erst recht seit den Publikationen von Bonabeau et al. und Kennedy et al., ihr Augenmerk derart auf die Relationalität und Umweltlichkeit von Schwärmen, dann lösen sich ihre Beobachtungen und Annahmen nicht gänzlich von biologischen Bezügen, tragen jene aber in neue Wissenskontexte und transformieren sie im Zuge dessen. Die Aufmerksamkeit verlagert sich nicht lediglich von Insektenstaaten und einer Gesamtheit von Schwärmen auf ihre einzelnen Bestandteile. Sie richtet sich letztlich vor allem auf den kritischen Übergang zwischen diesen Größenordnungen: auf die kollektive Koordinationslogik, die zwischen Schwärmen, ihren individuellen Agenten und ihrer Umwelt besteht und

28 Ein weiterer Ansatz der computerwissenschaftlichen Modellierung und Erforschung von Schwarmintelligenz macht das Prinzip der Stigmergie zum primären Ausgangspunkt einer eigenen Variante mathematischer Optimierungsverfahren. Bei der »Ant Colony Optimization« (Dorigo 1992; Dorigo und Stützle 2004) zufolge vermerken die simulierten Agenten ihre Positionen im Suchraum und hinterlassen »Spuren«, die dann andere Agenten in späteren Iterationen des Verfahrens zu besseren Lösungen führen können.

29 Argumentiert John Durham Peters (2015) in seiner Philosophie elementarer Medien, dass nicht nur Medien Umwelten erzeugen und verändern können, sondern Umwelten umgekehrt auch als Medien fungieren, und dass beide Informationen speichern, übermitteln und als »infrastructure[s] of being« (ebd., 10) Existenz begründen und unterhalten, so liefert die stigmergische Aktivität von Insektenschwärmen demnach ein mögliches Paradebeispiel für diese Verschränkung von Umweltlichkeit und Medialität.

deren Verständnis die Emergenz von Schwärmen weiter in Richtung ihrer möglichen Transparenz und damit technischen Applizierbarkeit rücken soll. Diesen Spuren, die die Erforschungen von Schwarmintelligenz an Schwärmen hinterlassen, folgen wenige Jahre später neue politische Ansätze, die Schwärme erneut als Modelle gesellschaftlicher Organisation und politischer Machtausübung beanspruchen. Zusammen mit Ideen der Optimierung und indirekter Koordination erlangen dabei auch die Unübersichtlichkeit und das Rauschen von Schwärmen – reinterpretiert als Möglichkeit des politischen Widerstands – neue Bedeutung.

#### 4.4 Exkurs: Clouds

Im Kontext von Theorien der Schwarmintelligenz im Rahmen der technischen Simulation und Transformation von Schwärmen stehen die ästhetischen Dimensionen von Schwärmen häufig weniger stark im Vordergrund als noch bei den Beobachtungen tierischer Schwarmphänomene. Entsprechende Fragen gehen nicht gänzlich verloren: Der visuelle Eindruck von Schwärmen wird, wie angemerkt, auch von informations- und simulationswissenschaftlichen Ansätzen kommentiert und ist insbesondere für daran anknüpfende militärtechnologische Ansätze oder auch politische Schwarmbewegungen wieder von entscheidender Bedeutung. Mit einem Fokus auf die mathematische Beschreibbarkeit von Schwarmverhalten erscheint dessen visuelle Unbestimmtheit jedoch teilweise in einem anderen Licht. Die schwärmende Bewegung einer Vielzahl von Elementen ist oft weniger als eine faszinierende kognitive Herausforderung von Bedeutung und mehr als ein kontrollierbarer Effekt. Ein Rauschen und eine Emergenz von Schwärmen werden in der Logik von Theorien der Schwarmintelligenz zu strategisch nutzbaren Größen. Bevor im nächsten Kapitel neue politische Schwarmbewegungen in Augenschein genommen werden, soll daher an dieser Stelle ein kurzer Seitenblick auf ein den Schwärmen eng verwandtes Motiv geworfen werden, an dem sich gerade Fragen visueller – und ebenfalls epistemischer – Unbestimmtheit noch einmal explizit diskutieren lassen. Es handelt sich dabei um Wolken beziehungsweise, gewendet als Bezeichnung medientechnischer Infrastruktur, um Clouds. Wie Schwärme werden auch Wolken im Diskurs digitaler Medien von Fragen der Wahrnehmung, der (Un-)Sichtbarkeit und auch von Dimensionen der Umweltlichkeit begleitet. Im Folgenden soll insbesondere kurz die Kritik reflektiert werden, die in diesem Kontext häufig gegen den Begriff und die Metapher der Wolke vorgebracht wird: In den luftigen Konnotationen der Wolke sehen viele Stimmen einen Widerspruch zu – und teilweise eine aktive Verschleierung – der technischen, materiellen Infrastruktur, die der digitalen Cloud letztlich zu Grunde liegt. Entgegen dieser Kritik kann auf einzelne Möglichkeiten hingewiesen werden, das Motiv der Wolke in Auseinandersetzungen mit digitaler Medialität produktiv zu machen. Hier sind unter anderem Fragen nach der Stabilität und zugleich der Ereignishaftigkeit medientechnischer Umwelten von Bedeutung, in denen sich manche Spannungslagen insbesondere politischer Schwarmbewegungen spiegeln.