

Mobile Crowdsensing

Interaktionsmodelle des mobilen Sensing und die infrastrukturelle Allgegenwart der ›mobile sensor networks‹

Vesna Schierbaum

Abstract *Beim Mobile Crowdsensing wird in großem Maße auf sensorische Daten zurückgegriffen, die Nutzer*innen mit ihren mobilen Devices produzieren. Auch wenn in Industriediskursen immer wieder auf die partizipatorischen Potenziale der Technik hingewiesen wird, ist das Mobile Crowdsensing stärker im Kontext des Pervasive Computing anzusiedeln. Ihm liegt in der Regel ein Interaktionsmodell zugrunde, in welchem Datenverarbeitungsprozesse unterhalb der Wahrnehmungsschwelle der Nutzer*innen ablaufen, um deren Interaktion mit den mobilen Endgeräten auf interfacegestützte Service-Funktionen zu beschränken. Der Beitrag versteht sich als eine kritische medienwissenschaftliche Hinführung zur Technik des Mobile Crowdsensing, das auf der Prämisse einer Allgegenwart mobiler sensorischer Infrastruktur aufbaut. Tatsächlich handelt es sich dabei um das Zusammenkommen verschiedener Technologien, Infrastrukturen, Medien und Wissensbestände, was die Frage nach einer Verflechtungsgeschichte des mobilen Sensing aufwirft.*

Keywords *mobile sensor networks; Partizipation; Kontrolle; Mobilität; Pervasive Computing*

1. Einleitung

Der Begriff ›Mobile Crowdsensing‹ taucht erstmals 2011 in einer Publikation von drei IBM-Mitarbeitenden auf – neben einer Reihe von weiteren Artikeln, die sich mit der Implementierung und den Einsatzgebieten des *Internet of Things* auseinandersetzen. Ganti et al. betonen gleich zu Beginn des Aufsatzes die Relevanz des Mobile Crowdsensing für ›the evolution of the Internet of Things‹ als emergierende Technik und Innovation:

An emerging category of devices at the edge of the Internet are consumer-centric mobile sensing and computing devices, such as smartphones, music players, and in-vehicle sensors. These devices will fuel the evolution of the Internet of

Things as they feed sensor data to the Internet at a societal scale. In this article, we examine a category of applications that we term mobile crowdsensing, where individuals with sensing and computing devices collectively share data and extract information to measure and map phenomena of common interest. (Ganti et al. 2011: 32)

Ganti et al. verweisen auf die rasche Ausbreitung mobiler und mit Sensoren ausgestatteter Computer, die vor allem von Endverbraucher*innen verwendet werden und aufgrund ihrer Internet-, Rechen- und Kommunikationsfähigkeit mehr noch als stationäre Geräte Lieferanten für wichtige sensorische Daten über die physische Umwelt darstellen. Ihr Mehrwert liege darin, Relationen zwischen einer Vielzahl physisch voneinander unabhängig agierender Individuen und den von ihnen mit den mobilen Devices produzierten sensorischen Daten zu erfassen, die somit die Grundlage für sich anschließende Wissensprozesse über Umweltphänomene größeren Maßstabes liefern.

Entlang rezenter Industriediskurse zum Mobile Crowdsensing soll in den folgenden Ausführungen eine medienwissenschaftliche Hinführung zur Technik vollzogen werden. Dabei werden zunächst die in Publikationen evozierten Verheißungen auf Partizipation und Demokratisierung einer kritischen Betrachtung unterzogen. Denn im starken Kontrast zu diesen Versprechen stehen die ebenso prominenten Aussagen der Entwickler*innen darüber, dass sich die massenhaft verfügbare Hardware dazu eigne, unbemerkt auf sensorische Daten zuzugreifen. Nutzer*innen sollen gerade nicht bewusst an der Datenerhebung und -verarbeitung teilnehmen, sondern ihre Interaktionen mit den Geräten und ihren Umgebungen sollen selbst Gegenstand skalierbarer Datenerfassungen werden. Deshalb werden anschließend die betreffenden Kontrolldiskurse in den Blick genommen, in denen die ›Crowd‹ als infrastrukturell gegebenes mobiles Sensornetzwerk entworfen wird, das durch die Implementierung von Modellen zum Zwecke der Datenerhebung instrumentalisiert werden soll. Von diesen Beobachtungen ausgehend wird argumentiert, dass die Technik des Mobile Crowdsensing vor dem Hintergrund einer Verflechtungsgeschichte verschiedener Technologien, ihrer Infrastrukturen, Wissensbestände und Praktiken Betrachtung finden muss. Zum Schluss werden mögliche Entwicklungstrajektorien und Einsatzpunkte dieser Verflechtungsgeschichte aufgezeigt.

2. ›Aktive‹ und ›opportunistische‹ Partizipation

Ganti et al. (2011) schließen mit ihrem Begriffsvorschlag an bereits existierende Diskussionen um die epistemischen Potenziale sowie die gesellschaftliche Relevanz mobiler Sensoren an. Ein zentrales Argument stellt seither die durch mobile Sen-

soren ermöglichte Partizipation von Nutzer*innen an den Wissensprozessen dar. Solche Bottom-Up-Modelle der sensorischen Datenerhebung firmieren unter dem Konzept des Participatory Sensing und haben in Schlagwörtern wie dem *Citizen Sensing* oder *Urban Sensing* heute auch in der medienwissenschaftlichen Forschung Resonanz gefunden (Burke et al. 2006; Boulos et al. 2011). So hat etwa Jennifer Gabrys 2013 das an der University of Cambridge assoziierte Projekt *Citizen Sense*¹ ins Leben gerufen, in dem untersucht wird, inwiefern die Interaktion mit Sensoren *in situ* die Beziehung von Bürger*innen zu ihren Umwelten und darüber hinaus entsprechende Verantwortlichkeiten beeinflussen kann (vgl. Gabrys 2016: 305). Die Verwendung von Sensoren durch Forscher*innen und Citizen Scientists versteht Gabrys als Antwort lokaler Milieus auf das Problem einer sich verändernden Umwelt (vgl. ebd.: 99). Die sich der Datenerhebung anschließende, kollaborative Auswertung und Kommunikation von Messergebnissen wird bei Gabrys zur Problembewältigungs- und Ermächtigungsstrategie für Bürger*innen, die sich für den Erhalt ihrer Lebensräume einsetzen. Gabrys kritisiert andererseits solche Smart City-Projekte, innerhalb derer Citizenship auf ein Bündel operationalisierter, datafizierter Interaktionen von Bürger*innen mit vernetzten Sensortechnologien und smarten Umgebungen reduziert wird, die dann vor allem Unternehmen und Verwaltungen ökonomisch und politisch nutzbares Wissen liefern (vgl. ebd.). Daran anschließend haben Daniela van Geenen und Timo Kaerlein (2023) erst kürzlich argumentiert, dass Praktiken des Urban Sensing auf Grundlage der »soziomateriellen Involviertheit« von Bürger*innen in die technischen und datenbezogenen Wissensprozesse bewertet werden müssen. Ein kritisches Potenzial hätten demzufolge insbesondere solche Initiativen, bei denen »sensing citizens« über die Situation der Datenproduktion hinaus mit interaktiven Praktiken des Bastelns und Experimentierens mit Sensoren als »offene« Objekte in Berührung kämen und an der Datenauswertung als kollektives »sense-making« beteiligt seien (vgl. ebd.: 93, 95, 103; vgl. Mondada 2021).

Derartige Projekte firmieren unter dem Begriff des Mobile Crowdsensing seit Kurzem auch in Deutschland. Beispielhaft kann hier ein 2020 am Bodensee durchgeführtes, vom baden-württembergischen Umweltministerium gefördertes Projekt mit dem Namen »Crowdsensing für Bodensee Online«² genannt werden, das die

1 Siehe <https://citizensense.net/>.

2 Bei Bodensee Online handelt es sich um ein Informationssystem für die »Beschreibung, Quantifizierung und Prognose der Auswirkungen anthropogener Eingriffe« (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg 2008, 3) in das Gewässer des Bodensees, die durch die dreidimensionale Berechnung von Wassertemperaturen und Strömungsverhältnissen abgeschätzt werden können. Grundlage des Informationssystems sind unterschiedliche Modelle des Wasserkörpers sowie echtzeitlich erhobene Daten, die durch ein stationäres Sensornetzwerk am Rande des Bodensees erhoben werden. Siehe <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/wasser/bodenseeonline>.

Aggregation von Wassertemperaturdaten durch ansässige Bootsfahrer*innen zum Ziel hatte. In der Vorbereitung wurden die Teilnehmer*innen zu Workshops eingeladen, in denen man ihnen den Umgang mit den Sensoren und den eigens für das Projekt entwickelten Dashboards erklärte. Neben dem Zweck, wichtige Daten für die Klimaforschung zu sammeln, formulierten die Teilnehmer*innen im Rahmen des Projekts insbesondere auch ein technisches Interesse an der Sensortechnologie selbst. Solche Beispiele deuten auf eine hohe Involviertheit und Interaktivität insbesondere in der Vorbereitungsphase derartiger Messvorhaben hin. Der Projektleitung zufolge sollten die Teilnehmer*innen nach der Anbringung der Sensoren an den Booten jedoch weitgehend ungestört ihren Freizeitaktivitäten mit den Booten nachgehen können, als seien die Sensoren überhaupt nicht da.

Dass das Mobile Crowdsensing nicht einfach als synonyme Begriff für partizipative Sensing-Modelle angesehen werden darf, wird deutlich, wenn Partizipation als ein möglicher ›Modus‹ der Datensammlung in den Hintergrund tritt. Ganti et al. etwa klassifizieren das Crowdsensing anhand der ›aktiven‹ oder ›bewussten‹ Mitwirkung von Teilnehmer*innen auf der einen Seite sowie der ›opportunistischen‹ oder passiven Beteiligung auf der anderen Seite (vgl. 2011: 32). Sebastian Vehlken (vgl. 2016: 59f.) schreibt hierzu, dass die Involvierung von Teilnehmer*innen im Sinne einer bewussten Partizipation in der Regel mit einer Aktivierung menschlicher Sinneswahrnehmung einhergehe, wenn Nutzer*innen etwa gezielt Fotos aufnehmen, diese mit zusätzlicher Information versehen und auf digitalen Plattformen teilen. Eine aktive Partizipation wirkt sich also auf die Aktionspfade der Nutzer*innen in der Interaktion mit den mobilen Devices selbst aus. Sie partizipieren über die Situation der Datensammlung hinaus durch Datenpraktiken des *sharing*, *tagging* und *mapping* sowie der kollaborativen Erarbeitung und Repräsentation von Ergebnissen. Derlei Praktiken weisen stets einen starken Bezug auf die Sensordaten selbst auf, die als solche zu sogenannten »matters of concern« werden (vgl. Latour 2005).

Mit der zweiten Kategorie eines ›opportunistischen‹ oder passiven Sensing hebt sich das Mobile Crowdsensing bei Ganti et al. (2011) jedoch vom Participatory Sensing ab. Als ›passive Partizipation‹ werden Fälle bezeichnet, bei denen auf digitalen Plattformen geteilte Daten ohne das Wissen der Nutzer*innen aggregiert oder schlichtweg permanent Positionsdaten erhoben werden, wie dies bei heutigen Smartphones und anderen Wearables der Fall ist. Folglich betrifft das Mobile Crowdsensing explizit auch diejenigen permanenten und ubiquitären Datenerhebungsprozesse, bei denen Nutzer*innen mehr oder weniger unbewusst am Prozess der Datenerhebung teilnehmen, während sie die Services ihrer mobilen Geräte nutzen. In der Regel erhalten sie dabei keine Einsicht in die weitere Verwendung der Daten. Opportunistische Partizipation meint hier also nicht zwingend eine aktive ›Involvierung‹ in den Wissensprozess, sie entspricht vielmehr einem minimalistischen Verständnis von Ko-Operation, bei der die *in situ*-Datenproduktion in automatisierten Prozessen der Datenverarbeitung und -auswertung angeeignet

wird, ohne dass dabei von einem Konsens zwischen den beteiligten Akteur*innen ausgegangen werden kann (vgl. Borbach/Thielmann 2019; Schüttpelz/Gießmann 2015). Eine kritische Auseinandersetzung mit der »soziomaterielle[n] und organisatorische[n] Ausgestaltung« (van Geenen/Kaerlein 2023: 89) dieser Prozesse erscheint deshalb zwar umso dringlicher, aufgrund ihrer Opazität aber auch schwieriger.

Die Gegenwartsdiagnose einer Ubiquität der sensorischen Datenerhebung hat der Medientheoretiker Marc B. N. Hansen im Rahmen seines reichlich rezipierten Aufsatzes zur »Ubiquitous Sensibility« einmal so formuliert: »[...] our phones and the sensors that now inhabit our lived space passively register massive amounts of behavioral and environmental data without any active involvement, decision to initiate, or even awareness on our part« (2012: 53). Laut Hansen hat die technisch-sensorische Durchdrungenheit von Umwelt eklatante wahrnehmungs- und medientheoretische Konsequenzen. Gegenwärtige »Sensormedien« (Thielmann 2019; Scholz 2021) versetzen uns in eine »condition of transparent ubiquity« (Hansen 2012: 53), welche nicht mehr unsere Sinne als solche medial vermitteln, sondern »sensitivity itself« (ebd.: 54). Mit der Beschreibung der ubiquitären algorithmischen Prozesse sensorischer Erfassung spielt Hansen auf das *Ubiquitous Computing* an, ein in den frühen 1990er Jahren philosophisch unterfüttertes Konzept des Computerwissenschaftlers Mark Weiser, der am Xerox PARC in Palo Alto mit seinem Entwickler*innenteam die heutigen smarten Geräte, insbesondere auch das iPhone mit seinen zahlreichen integrierten Sensoren, entscheidend vorbereitete (vgl. Sprenger 2015). Weiser hatte hierfür die Idee einer ubiquitären Computerisierung von Umgebungen entworfen, wobei die Rechenkraft als »calm technology« (vgl. Weiser/Brown 1995) die menschliche Wahrnehmung unterlaufen sollte, um ihren einstigen Zweck des dem Menschen Dienenden endlich zu erfüllen. Weisers idealistische Vision der Mensch-Maschine-Interaktion wurde Mitte der 1990er Jahre von der Industrie aufgegriffen und im Feld des sogenannten Pervasive Computing weiterentwickelt. Am IBM fokussierte man sich dabei aber stärker auf die Mobilität der Computer sowie auf den exzessiven Einsatz und die Integration von Sensortechnologie (vgl. Ark/Selker 1999; Dourish/Bell 2011: 15). Es ist also nicht verwunderlich, dass Industriediskurse zur Technik des Mobile Crowdsensing aus eben jenem Dunstkreis von Entwickler*innen am IBM hervorgegangen sind. Gewissermaßen soll das Mobile Crowdsensing dann ein Systemmodell für die epistemische Nutzbarmachung jener von Hansen beschriebenen gegenwärtigen Medienkonstellation liefern, bei der große Massen von Nutzer*innen in der sensorisch-medial vermittelten Interaktion mit ihrer Umgebung permanent sensorische Daten produzieren. Das Mobile Crowdsensing verweist hier auf ein Spannungsverhältnis zwischen ubiquitärer Datenerhebung und den zuvor geschilderten Partizipationsversprechen. Es steht in der Tradition des Ubiquitous und Pervasive Computing, bei denen Datenverarbeitungsprozesse unterhalb der Wahrnehmungsschwelle der

Nutzer*innen ablaufen, um deren Interaktion mit den mobilen Endgeräten auf interfacegestützte Service-Funktionen zu beschränken und diese zu erleichtern.

3. Mobile Sensor Networks

Die Verbreitung von mobilen, sensorgestützten Endgeräten hat seit der Lancierung des iPhones als vielleicht größte Erfolgsgeschichte dieser Entwicklung nicht nur Imaginationen einer Demokratisierung von digitaler und datengetriebener Umwelt- und Klimaforschung befeuert, sondern auch von einer durch die Verbreitung ermöglichte Skalierbarkeit der Datenerhebung insgesamt (vgl. Lane et al. 2010). Sensing-Projekte sollen dadurch flexibel auf unterschiedliche Informationsbedarfe und politische oder gesellschaftliche Belange antworten (vgl. ebd.: 141ff.). Die »sensorische Crowd« erscheint vor diesem Hintergrund als ein Makro-Modell sensorischer Datenerhebung auf Ebene einer »societal scale« (Ganti et al. 2011: 32). Mit ihr soll die räumliche Distribution von Sensoren möglich werden, sodass Messungen feinmaschiger und Modelle optimiert werden können (vgl. Gabrys 2016: 32). Als mobil agierende, räumlich distribuierte Vielheit von Nutzer*innen-Technik-Netzwerken erfüllt sie also allem voran eine epistemische Funktion: Die sensorische Crowd erlaubt die Verteilung und Verdichtung sensorischer Messungen und damit die Skalierung der sensorischen Datenerhebung. Ganz im Sinne der sensorisch-technischen Landnahme antwortet sie auf ein zentrales – und einst militärisch motiviertes – Anliegen der drahtlosen Sensornetzwerke, nämlich auf die Notwendigkeit der stetigen Erweiterung stationärer sensorischer Messungen. Dort, wo Forscher*innen in Hinblick auf ein zu erfassendes Gebiet mit dem Abdeckungsproblem, d.h. mit dem »problem of deployment and coverage« (Dantu et al. 2005: 408) konfrontiert sind, soll mit der Technik des Mobile Crowdsensing Abhilfe geleistet werden. Teilnehmer*innen sollen Umweltparameter eines geographischen Gebietes über einen bestimmten Zeitraum hinweg feinmaschiger erfassen, als dies mit kosten- und wartungsintensiven Sensorstationen möglich ist. Mit der Crowdsensing-Studie am Bodensee wollte man beispielsweise der unzureichenden sensorischen Erfassung des Wasserkörpers entgegenwirken. Bootsbesitzer*innen sollten eigens für das Projekt entwickelte Sensoren an ihren Booten befestigen, um damit Wassertemperaturdaten auch aus den tieferen Bereichen des Sees zu messen. Dadurch erhoffte man sich einen größeren Detailreichtum der Daten, die perspektivisch zur Validierung und Anpassung vorhandener Strömungsmodelle des Wasserkörpers verwendet werden sollten. Die Crowd avanciert so zu einer »productive force« (Vehlken 2016: 62), mittels derer die Präzisierung von Modellen des Umweltmonitoring, aber auch allgemeiner der Mobilität und umgebungsspezifischer Interaktion vorangetrieben werden kann.

Dass die eingesetzten Sensoren und Interfaces im Kontext der Klimaforschung wie im Bodensee-Beispiel erst entwickelt werden müssen, steht einer häufig wiederholten Prämisse des Mobile Crowdsensing entgegen. Entwickler*innen stützen sich auf die Gewissheit, dass der pragmatische Rückgriff auf Sensordaten durch die bereits im Umlauf befindliche und vernetzte Hardware möglich wird. Dabei sollen Nutzer*innen im Idealfall »ungestört« anderen Aktivitäten nachgehen, die dann wiederum selbst zum Gegenstand sensorischer Erfassung werden.

The massive use of smart phones, and the adoption of on-board sensors in modern vehicles, enable the use of non-specialized crowds as mobile sensor networks. Ideally, people will go to their daily activities by walking or driving and the sensors attached to them will collect data without interrupting their activities. (Chakeri et al. 2022: 278)

In zentralen Publikationen zur Technik des Mobile Crowdsensing werden Nutzer*innen immer wieder als *mobile sensor networks* diskursiviert. Aufgrund ihrer Vernetzung erscheinen die »non-specialized crowds« als *gegebene* infrastrukturelle Grundlage für die mobile Datenerhebung, sodass sich nicht mehr nur von einer Rhetorik der Gegebenheit der Daten selbst (vgl. Rosenberg 2013; Thielmann 2014: 355), sondern auch von einer Rhetorik der Gegebenheit von Infrastruktur sprechen ließe, die so jedoch transparent zu werden droht (vgl. Star/Ruhleder 1996: 113). Entgegen einem klassischen Infrastrukturverständnis umfassen diese Infrastrukturen dann nicht lediglich die in einem »infrastrukturellen Rückraum« (Schabacher 2022: 8) operierenden digitalen Netze und Server, sondern auch die Endgeräte und ihre Nutzer*innen selbst. Sie bleiben weitgehend anonym und werden zu Komponenten einer Infrastruktur des Mobile Crowdsensing, insofern sie aus Perspektive von Unternehmen und Institutionen als »durable object-constellations« (Seberger/Bowker 2021: 171ff.) erachtet werden, die durch geeignete Incentives in Form von Apps adressiert und mobilisiert werden können.

Mit der sensorischen Crowd als *mobile sensor network* ist eine soziotechnische Kategorie rezenter Datenerhebungsprozesse aufgerufen, die sich weniger leicht in ihrer Sequenzialität als Reihe situierter, verkörperter und interaktiver Praktiken *on the ground* untersuchen lassen, eben weil sie stärker auf Top-Down-Operationen der Datenakquise verweisen. Die Crowd erscheint hier als Aggregat, mittels dessen Daten über Umweltphänomene großen Maßstabs durch Dritte akquiriert werden können. Das Mobile Crowdsensing kann deshalb als eine Technik der »sensor society« par excellence angesehen werden, mit der Marc Andrejevic und Mark Burdon den Wandel von einer zielgerichteten Informationsgenerierung hin zu den »always-on, ubiquitous, opportunistic ever-expanding forms of data capture« (2015: 19) beschrieben haben. Insbesondere dem Versprechen einer medieninhärenten Interaktivität digitaler mobiler Gadgets erteilen die Autoren eine Absage und stellen statt-

dessen eine »passive-ication of interactivity« (ebd.: 20) fest, bei welcher der Umfang der beispielsweise mit einem Smartphone generierten sensorischen Daten bei weitem die durch die Nutzer*innen aktiv kommunizierten Informationen übersteigt:

If, once upon a time, the mobilization of the promise of interactivity was characterized by the enthusiastic portrayal of heightened forms of active participation on the part of users, the automated collection of data »passive-izes« this interactivity. Our cars, phones, laptops, Global Positioning System (GPS) devices, and so on allow for the comprehensive capture of the data trails users leave as they go about the course of their daily lives. In the business world, this device-driven data—combined with new techniques for putting it to use—have been enthusiastically greeted as a valuable economic resource. (Andrejevic/Burdon 2015: 20)

Dass mobile Sensoren, insbesondere die der heutigen Smartphones, aber auch diejenigen der immer autonomer werdenden Autos, ständig sensorische Daten über Interaktionen von Nutzer*innen mit ihrer Umgebung generieren, evoziert entsprechende Kritik am datenbasierten Überwachungskapitalismus bzw. an einem Capture-Kapitalismus, der im Wesentlichen auf kommerziell motivierte Praktiken des Tracking, der Intervention und Steuerung aufbaut (vgl. Zuboff 2020; Agre 1994; Friedrich 2022). Laut Andrejevic und Burdon überschreitet die Sensorgesellschaft aber die Rekonfiguration von in Diskursen zu digitalen Überwachungstechnologien ohnehin schon aufgerufenen Kategorien von Privatheit, Überwachung und »sense-making« (2015: 20f.): »There are structural asymmetries built into the very notion of a sensor society insofar as the forms of actionable information it generates are shaped and controlled by those who have access to the sensing and analytical infrastructure« (ebd.: 21). Sie schlagen deshalb vor, die medienwissenschaftliche Aufmerksamkeit stärker auf die »costly infrastructures« (ebd.) zu richten, welche die Datensammlung, -speicherung und -verarbeitung überhaupt erst ermöglichen und es den jeweiligen Unternehmen erlauben, auf sie zurückzugreifen – also eben jene »kostspieligen Infrastrukturen«, die in der Rhetorik des Crowdsensing entweder affirmativ als im Überfluss verfügbare Infrastruktur gerahmt oder aber weitgehend diskursiv verworfen werden.

4. Interventionen des Crowdmanagements

Neben den gegenwärtigen Medieninfrastrukturen des »Signal Traffic« (vgl. Parks/Starosielski 2015) – im spezifischen die seit Mitte der 2000er Jahre entstandenen »Infrastrukturen des Cloud Computing« (Sprenger/Engemann 2015: 18) – müssen angesichts der permanenten, unter der Wahrnehmungsgrenze ablaufenden, automatischen und umfassenden sensorischen Datenerhebung dann insbesondere die

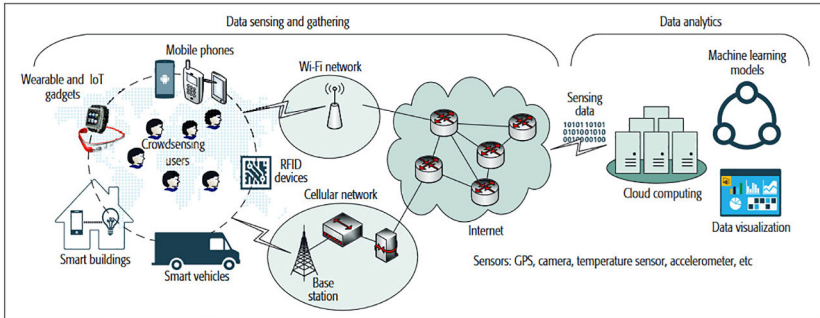
für die Zirkulation der Daten notwendigen algorithmischen Prozesse und Operationen in den Blick genommen werden, die den Datenverkehr datenlogistisch organisieren. Mithilfe von »Big Sensor Data«-Algorithmen sollen etwa die Daten von Sensoren wie Mikrofonen, Kameras, Beschleunigungssensoren von Autos, Gyroskopsensoren in Smartphones oder von GPS-Signalen innerhalb eines *networked sensor system* erhoben, gefiltert, integriert, ausgewertet, interpretiert und repräsentiert werden (vgl. Ang/Seng 2016). In der Industrieliteratur wird Mobile Crowdsensing als System aus dynamischen On-/Offline-Konstellationen von bewegten Körpern, Objekten, stationären Kommunikationsnetzwerken und Software entworfen, das auf softwarebasierten Verfahren zur Organisation und Prozessierung von Daten und Datenflüssen basiert. Eindrücklich wird dies insbesondere durch die Publikationen begleitenden graphischen Systemdarstellungen, die eine vermeintlich geschlossene Datenökologie suggerieren (Abbildung 1). Damit evoziert die Technik durchaus Vorstellungen einer vollständig autonomisierten Organisation von Datenflüssen, die dann auch reziprok – im Sinne des Closed Loop Sensing (vgl. Friedrich 2022: 645) und auf Basis entsprechender Machine Learning Algorithmen – zur Steuerung mobiler sensorischer Messungen und allgemeiner zum Management von datafizierter Mobilität reichen soll, ohne dass die Intervention menschlicher Akteure vonnöten ist. Solche Entwürfe werfen deshalb, wie Kathrin Friedrich bemerkt, nicht zuletzt »Fragen nach der verbleibenden menschlichen Handlungsmächtigkeit und veränderten Interaktionsbedingungen von Lebewesen« (ebd.) allgemein auf. Als zentraler Treiber für derartige Systemvorstellungen fungiert dabei stets die Annahme einer umfassenden Programmierbarkeit, das heißt Implementierbarkeit formalisierten Wissens, wie Jennifer Gabrys sie im Kontext aktueller digitaler Sensortechniken untersucht hat:

»Programmability«, as I employ the term, has a somewhat wider use than just software or code. Instead, this expanded engagement with programmability considers how code is not a discursive structure or rule that acts on things, but rather is an embodied and embedded set of operations that are articulated across devices, environments, practices, and imaginations. Programmability then exceeds software (and even computation) to encompass the formation of events, spaces, and things. (Gabrys 2016: 11)

Gabrys versteht die Programmierbarkeit jedoch gerade nicht als schlichte Annäherung performativer Prozesse an die Logik algorithmischer Operationen, sondern begreift sie vielmehr in ihrer Kontingenz als »fraught process, [...] continually unfolding the complex if at times troubling attempts to make environments into spaces of observation, distributed experience, and even automated management« (ebd.: 281). Vor diesem Hintergrund stellt sich beim Mobile Crowdsensing die Frage nach den zugrundeliegenden System Designs sowie entsprechenden

Modellierungs- und Formalisierungspraktiken, die sich in Diagrammen, Modellen und Graphen äußern und aus medienwissenschaftlicher Perspektive spannende Gegenstände darstellen.

Abbildung 1: System model of mobile crowdsensing (Screenshot). In: Alsheikh, Mohammad Abu et al. (2017): »The Accuracy-Privacy Trade-off of Mobile Crowdsensing«, in: *IEEE Communications Magazine*, 55(6), S. 132–139, S. 133.



Auf der Prämisse einer vermeintlich im Überfluss verfügbaren, jederzeit »anzapfbaren« Infrastruktur sensorisch ausgestatteter User-Netzwerke aufbauend, fokussiert die Industrieliteratur zum Mobile Crowdsensing also verstärkt die auf Modellen basierenden Verfahren des Crowdmanagements sowie die stete Optimierung und Anpassung von Apps unter Verhandlung etwaiger privatschutzrechtlicher Bedenken (vgl. Roitman et al. 2011; Vehlken 2016). Sie eröffnet deshalb nicht zuletzt einen interessanten Einblick in die zugrundeliegenden Modellierungen von Nutzer*innen und die daran anknüpfenden Überlegungen zu umgebungs- und medien-spezifischen Affordanzen. Dass dies mitunter bizarre Züge annimmt, lässt sich an einem Aufsatz zum *Vehicular Crowdsensing* veranschaulichen, in welchem die Autoren nach möglichen »incentive mechanisms« suchen, »that encourage [...] vehicles to deviate from their pre-planned trajectories in order to visit and collect data from the isolated places« (Chakeri et al. 2022: 278). Es wird auf das höhere »involvement« der Nutzer*innen verwiesen, die von ihrem eigentlichen Wegeziel abweichen müssen, damit das Messvorhaben gelingen kann. Ganz in der Tradition des Ubiquitous und Pervasive Computing schwingt hier die negative Bewertung einer hohen Nutzer*innen-Involvierung mit, während Partizipation als ein möglicher Anreiz nicht genannt wird. Im Gegenteil wird für die Anreizschaffung die Annahme zugrunde gelegt, dass sich AVs (Autonomic Vehicles) »in a selfish and rational way« verhalten, »i.e., they always look to maximize their own utilities« (ebd.: 280). Als ein möglicher Mechanismus wird die Gamifizierung der Datenproduktion vorgeschlagen, bei der die Nutzer*innen mit »rewards« (ebd.: 278) ausgezeichnet werden, wenn

sie den vorgeschlagenen Trajektorien folgen und die gewünschten Daten erheben. Die mobilen Sensorknoten erscheinen hier als User-Vehicle-Hybride, deren Verhaltenszuschreibung als »egoistische« Agenten auf eine gängige Prämisse des Mobilitätsmanagements zurückgeht. Sie basiert auf der modellierenden Schwarmforschung bzw. genauer auf agentenbasierten Simulationsmodellen, die medienhistorisch eingehend durch Sebastian Vehlken betrachtet wurden. Diesem zufolge stellen die in den 1970er Jahren naturwissenschaftlich beforschten tierischen »Selfish Herds« relevante Modelle für die geometrisch-mathematische »Entstehung globaler Muster als Ergebnis individueller, lokaler Verhaltensprozesse« (2012: 289) dar. Der integrierte Einsatz von Sensoren innerhalb sogenannter »sensory integration systems« (vgl. Schilt/Norris 1997) hingegen habe dazu geführt, so Vehlken weiter, dass das »Soziale« selbst »als Funktion verschiedener Informationsinputs« (2012: 290) bestimmt sei. So erscheint die algorithmische Implementierung geeigneter Incentives beim Mobile Crowdsensing als Korrekturoperation gegenüber dem Verhalten mobiler Agenten, das hier nicht mehr eindeutig dem Menschen oder der Maschine zugeordnet werden kann. Dabei wird aber nicht nur recht banalen, vor allem aus der Verhaltensbiologie entnommenen Verhaltensmodellen gefolgt, sondern offenbar auch weitgehend opak bleibenden Prämissen aus der Spieltheorie.

Wegen dieser die Kontrolle und das Mobilitätsmanagement betreffenden Dimensionen hat Sebastian Vehlken das Crowdsensing allgemeiner in den Kontext einer Genealogie der Masse und des »crowd behavior« gestellt. Dabei kontrastiert er moderne, aus der Massenpsychologie des späten 19. und frühen 20. Jahrhunderts hervorgegangene Beschreibungen der Masse als affektives und emotional aufgeladenes Kollektiv gegen die oben bereits angesprochene, sich durch Entwicklungen im Bereich des Agent-Based-Modelling (ABM) und der Simulation wandelnde wissenschaftliche Behandlung der Crowd als »mere quantifiable »connectives«« (Vehlken 2016: 52), die insbesondere für das Verfahren des Crowd Capturing relevant werden. Als »zweite Transformation« dieser Genealogie nennt Vehlken den Übergang zum sogenannten Multimodal Crowdsensing (vgl. Roitman et al. 2011).³ Hierbei geht er insbesondere auf die medial ermöglichte Selbstreflexivität der Crowd ein, der beispielsweise mittels interaktiver Karten in den betreffenden Crowdsensing-Applikationen und Dashboards bestimmte Informationen in annähernder Echtzeit zurückgespielt werden können, »leading to autonomous decision making« (Vehlken 2016: 61). Mehr noch aber dienen die gesammelten Daten, die dann mithilfe integrierter Modelle verarbeitet werden, der Visualisierung, Auswertung und Vorhersage dynamischer Umweltgeschehen, »to support actions, assessments and decision-making by experts« (ebd.: 60). Im Crowdsensing, welches schließlich »alle Arten« von durch

3 Beim *Multimodal Crowdsensing* liegt der Schwerpunkt begrifflich stärker auf den multimodalen Verfahren der Datenverarbeitung, die beim Mobile Crowdsensing aber ebenso zentral sind.

Menschen und mobile Geräte erhobene Sensordaten umfasse, zeige sich laut Vehlken der Versuch einer Autonomisierung allumfassender Organisation von Umweltgeschehen (vgl. ebd. 61).

5. Mobilität, Crowd, Sensing: Trajektorien einer Vorgeschichte

Das *Mobile Crowdsensing* verweist vor diesem Hintergrund auf eine politische Formel gegenwärtiger Datenprozesse, welche vom MIT-Professor Alex Pentland einmal so zusammengefasst wurde: »[...] sense the situation, combine observations with dynamic demand and reaction models, and use the resulting predictions to control the system« (2012: 31). Die massenhaft verfügbaren »behaviour-sensing-data« sollen die Grundlage für die zukünftige Autonomisierung gesellschaftlicher Kontrollsysteme bilden. Derlei umfassende Zukunftsvisionen von einem durch mobil erhobene Sensordaten gefütterten – letztlich global operierenden – Kontroll- und Feedbacksystem fußen dabei auf einer gegenwärtigen »Konstellation bestehender mobiler Medientechniken« (Buschauer 2014: 406), welche die ständig wiederkehrenden Verweise auf das weitreichende Vorhandensein nötiger technischer Hardware zu legitimieren scheinen. Dabei umfasst das Mobile Crowdsensing – wie meine Ausführungen gezeigt haben – eine ganze Reihe von Technologien, Infrastrukturen, Praktiken und Diskurse, die für konkrete Durchführungen in Anschlag gebracht und im Sinne einer prototypischen Datenzirkulationsarchitektur und -logistik unter teils hohem Aufwand aufeinander abgestimmt werden müssen. Um eine schlichte Übernahme der Rhetorik einer Gegebenheit von Infrastruktur in der medien- und kulturwissenschaftlichen Auseinandersetzung mit dem Mobile Crowdsensing vorzubeugen, erscheint eine Kontextualisierung und historische Einordnung im Sinne einer *Vorgeschichte* der Technik umso relevanter. Eine solche Verflechtungsgeschichte zeigt, dass das komplexe Zusammenspiel der hier eingesetzten Technologien, Infrastrukturen und Wissensbestände niemals unproblematisch ist.

Von Pentlands Artikel ausgehend hat Regine Buschauer die Visionen eines sensordatenbasierten Kontrollsystems allgemeiner in eine diskurs- und medien-geschichtliche Betrachtung des Entwicklungszusammenhangs von Mobilitätsinfrastrukturen und Telekommunikation gestellt. Sie setzt bei der frühen Mobilfunktechnologie an, die technisch gesehen im Wesentlichen durch das Location Sensing bei gleichzeitiger Bewegung der Nutzer*innen als »Kernfunktionalität« (ebd.: 419) definiert ist. Am frühen Mobilfunk lässt sich demnach das technische *Apriori* des Sensing verdeutlichen, das notwendig ist, um drahtlose Kommunikation überhaupt zu gewährleisten. Interessant ist, dass die Adressierung der mobilen Einheiten für die Mobiltelefonie noch bis in die 1990er Jahre hinein eine technologische Herausforderung darstellt, insbesondere wenn zu viele Nutzer*innen innerhalb einer Funkzelle das System potenziell überlasten. Die Crowd kommt in

der Technologie des Mobilfunks als Störung der wechselseitigen Kommunikation zwischen zwei mobilen Einheiten zum Tragen. Der Problematik des »spectral overcrowding« begegnet man mit dem exzessiven Ausbau und einer Ubiquitisierung von stationärer Infrastruktur sowie mit der Ausstattung der mobilen Einheiten mit kleinen Rechnern, die eine eigene Adresse aufweisen (vgl. Cooper/Nettleton 1983). Zugleich wird eine komplexe datenlogistische »infrastructure« (Curien 1998) für das Mobilitätsmanagement entwickelt. Im Verlauf der 1980er Jahre beginnt man außerdem mit der Suche nach geeigneten Mobilitätsmodellen, die zum »Tracking [of] Mobile User in Wireless Communications Networks« (Bar-Noy/Kessler 1993) dienen sollen und bereits hier auf eine Virtualisierung des Diskurses zur mobilen Telekommunikation hindeuten (vgl. Gießmann 2012: 331). Bis heute werden in der Mobilfunktechnik Simulationen zur Optimierung infrastruktureller Performance eingesetzt, um Datentransfer überhaupt zu gewährleisten.

Parallel zur Genese der mobilen Netzwerke in der Telekommunikation und der Entstehung des Internets beschäftigt man sich ab den 1980er Jahren im Feld der *Wireless Sensor Networks* mit Fragen der Mobilmachung von Sensoren. Im Kontext der durch die US-amerikanische Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) entwickelten Large Scale Sensor Networks zum Zwecke der militärischen Gebietsüberwachung werden die Möglichkeiten einer hybriden Strukturierung der Sensornetzwerke erforscht, wobei mobile Sensorknoten den statischen Sensornetzwerken hinzugefügt und mittels geeigneter Verfahren des »collaborative signal processing« (Kumar/Shepherd 2001) integriert werden sollen. Man erhofft sich davon insgesamt eine Flexibilisierung der militärischen Operation sowie eine gewisse Redundanz des Erfassungsgebiets (vgl. Dostal 2001). Für die drahtlosen Sensornetzwerke sind Forschungen im Feld des Pervasive Computing zentral, die insbesondere die Miniaturisierung und Energieeffizienz und damit einen breiten Einsatz von Sensoren für kommerzielle, militärische und wissenschaftliche Zwecke vorantreiben. Im Pervasive Computing befasst man sich mit der Integration von mobilen Sensoren in stationäre *wireless sensor networks*, die als Verbindungsinstanz zwischen physischer Umgebung und Kommunikationsnetzen fungieren sollen (vgl. Estrin et al. 2002). Auch in der Umweltforschung zu distribuierten Sensornetzwerken werden explizit die epistemischen Potenziale mobiler Sensoren befragt, wobei zwischen sogenannten *Mobile Adhoc Networks (MANETs)* und solchen einer *Controlled Mobility* unterschieden wird. Die Mobilisierung von Sensornetzwerken bezieht sich dabei zunächst nicht etwa auf die Involvierung von Nutzer*innen, sondern reicht vielmehr in das Feld der Robotik hinein. *Controlled Mobility* meint also »the ability of a network to move intentionally, and without human assistance« (Dantu et al. 2005: 404). Beispielhaft kann hier das 2002 lancierte Forschungsprojekt Robomote der University of California genannt werden, bei welchem die Eignung kleiner und mit Sensoren ausgestatteter fahrender Roboter für den Einsatz innerhalb statischer Sensornetzwerke erprobt wurde (vgl. Sibley et al. 2002). Dazu gehören ebenso Überlegungen zu geeigneten Model-

len und Algorithmen einer ›Sensing Coverage Optimization‹, die sich zum Beispiel am Bewegungsverhalten von Ameisen orientieren (vgl. Lu et al. 2021).

Zeitgleich werden mit den MANETs im Ausgang des 20. Jahrhunderts auch die bereits existierenden Mengen von Handybesitzer*innen referiert, die jedoch keinesfalls als steuerbare mobile Netzwerke erscheinen, sondern im Gegenteil eher als sich unablässig und unkontrolliert bewegend und damit schwer zu steuernde Crowd. Erst die Verschiebung hin zu einem stärker systemadaptiven und ortsspezifischen Verständnis von Sensoren als pervasive und vernetzte Medientechnologie, die unter anderem auch mit einer massenhaften Implementierung von GPS-Technologie in Fahrzeuge einhergeht, bringt neue Formen der Lokalisierung hervor, welche die Umgebungen der Geräte stets mit thematisieren und insofern laut Florian Sprenger (2018: 264) »Verfahren der Positionierung« darstellen. Hier werden die Nutzer*innen-Mengen zu einem vielversprechenden Gegenstand für etwaige Sensing-Unternehmungen, weil sie als in konkreten Umgebungen positionierbare, adressierbare und steuerbare Sensorknoten erscheinen.

Wenn das Mobile Crowdsensing also im Kontext einer längeren Vorgeschichte des mobilen Sensing Betrachtung finden soll, so kann es nicht sinnvoll auf den technischen Einsatz oder Rückgriff auf Smartphones oder andere *hand-held gadgets* als Einzelmedien reduziert werden. Es erweist sich vielmehr als heterogene Technik, die auf die Verflechtungsgeschichte einer ganzen Reihe von Technologien, Infrastrukturen und Wissensbeständen aufbaut. Wie bereits angedeutet, müssen diese – entgegen der Rhetorik der Allgegenwart von Hardware – bis heute je nach Anwendungsfall erst entwickelt und getestet werden. Bei der Machbarkeitsstudie am Bodensee galt dies nicht nur für die neu entworfenen Sensoren, sondern auch für ein entsprechendes LoRaWan-Netzwerk für die mobile Übertragung der Daten, mit der außerdem ein hoher Energieverbrauch verbunden ist. Sensing-Unternehmungen sind damit stets auch selbst Projekte der Infrastrukturierung, die nicht nur den Ausbau von IoT-Netzwerken, sondern auch die Gewährleistung von Funk- und Energieversorgung betrifft. Insofern, so möchte ich hier argumentieren, muss das Mobile Crowdsensing stärker im Kontext der komplexen Genese mobiler Medien allgemein und spezifischer einer Mediengeschichte des mobilen Sensing betrachtet werden, die sich laut Tristan Thielmann immer schon als »komplementäre Systeme und Erweiterungen zu stationären elektrischen/elektronischen Medien und Kommunikationsnetzwerken« (2014: 351) entwickelt haben.⁴ Der Fokus auf die Gestaltung und

4 Tristan Thielmann (2014: 352) erklärt sich daraus die gegenwärtig anhaltende »Konvergenzbewegung von Medienkulturwissenschaft und Science and Technology Studies«, bei der sich erstere der medialen Perspektive auf die Medien-Werdung alltäglicher Gegenstände verpflichtet, während man sich in der STS einer infrastrukturellen Sichtweise bediene, die untersucht, wie das Internet durch Mobilien Erweiterungen im Sinne von »Netzwerkstrukturen, Produktions- und Vertriebsprozesse« ausbildet.

Nutzung von und den in situ-Interaktionen mit heutigen mobilen Medien kann so durch eine Betrachtung ihrer jeweiligen Einbettung in mediale Infrastrukturen und digitale Systeme der Datenverarbeitung geweitet werden.

6. Fazit

In dem Beitrag habe ich Diskurse zum Mobile Crowdsensing untersucht und darin Dimensionen aufgezeigt, welche die Technik für eine medienwissenschaftliche Betrachtung interessant machen. Aufgrund des häufigen Verweises auf bereits vorhandene mobile Sensing-Infrastruktur und den von Nutzer*innen »unbemerkten« Zugriff auf ebendiese, der als »opportunistische« Partizipation deklariert wird, reihen sich Industriediskurse zum Mobile Crowdsensing in das Feld des Pervasive Computing ein. Das Mobile Crowdsensing zielt so auf die sensorische Erfassung von Interaktionen mit der Umwelt selbst ab, die aufgrund der Verbreitung mobiler Sensoren skalierbar und durch Modelle verallgemeinerbar werden. Damit erscheint das Mobile Crowdsensing als Systemmodell und Datenlogistik komplexer algorithmischer Operationen, welche die Datenflüsse zwischen mobilen Endgeräten und fixierten digitalen Infrastrukturen in immer smarter werdenden Umgebungen organisieren. Folglich rücken die wissensbasierten Verfahren der Datenverarbeitung in den Fokus, also Modelle und Graphen, die nicht nur zur autonomen Entscheidungsfindung beitragen sollen, sondern auch weitere mobile Datenerhebungen mit mobilen Sensoren koordinieren und damit die Steuerung und Kontrolle als zentrale mediale Dimensionen des Mobile Crowdsensing ausweisen (vgl. Vehlken 2016). Das hierfür notwendige massenhafte Vorhandensein mobiler Devices wird dabei als materielle Grundlage für eine pragmatische Aggregationsmethode entworfen, die als kosteneffizient und ressourcenschonend erscheint.

Demgegenüber habe ich schlaglichtartig versucht, Trajektorien und mögliche Einsatzpunkte eines Entwicklungszusammenhangs zwischen der Genese mobiler Kommunikationssysteme, statischer Sensornetzwerke und Crowddiskursen aufzuzeigen. Das diese Bereiche verbindende Motiv kann als ein Wechselspiel zwischen stationärer Kommunikationsinfrastruktur und mobilen Medien bezeichnet werden, das durch eine Datenlogistik des ko-operativen Sensing bewerkstelligt und abgestimmt werden muss. Ausstehend ist dabei die historische Einordnung der Entwicklung mobiler Apps und digitaler Plattformen in diesem Kontext geblieben, die jedoch im historischen Zusammenhang von Mobilität, Sensing und Crowd und allgemeiner in der *Vorgeschichte* des Mobile Crowdsensing als gegenwärtige Medientechnik eine zentrale Rolle einnehmen, insbesondere weil sie den in-situ-Praktiken der Nutzer*innen, also ihre medienspezifischen Interaktionen, neue Ausprägungen verleihen.

Gabriele Balbi und Paolo Magaudda (2018) haben in ihrer *History of Digital Media* auf die Ideologie eines historischen »presentism« (ebd.: 11) hingewiesen, der insbesondere die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit digitalen Medien prägt. Sie stützen sich dabei auf Graham Murdoch und Michael Pickering (2009), die mit Blick auf Arbeiten zu den heutigen Mobilfunksystemen von einem »cultural presentism« (ebd.: 8) sprechen. Ein solcher »kultureller Presentismus« zeuge – so argumentieren die Autoren – von einer durch gegenwärtige Mobilitäts- und Telekommunikationspraktiken veränderten Wahrnehmung von Raum- und Zeithorizonten. Gerade die exzessive Aufzeichnung und Speicherung von Ereignissen habe eine kulturelle Dissoziation von der eigenen technologischen Geschichte zur Folge, während »our sense of long-term continuities diminishes and we become increasingly present-focused« (ebd.).

New media seem to change so quickly and are considered so radically »revolutionary« (thus provoking a drastic break with the past) that historical analysis has often been difficult to apply and, ultimately, useless for a vision concentrated on the present and future (not by chance named »presentism«). (Balbi/Magaudda 2018: 11)

Wenngleich das Mobile Crowdsensing in den betreffenden Entwickler*innentexten durchaus als Innovation diskursiviert wird, verweist es rhetorisch dennoch immer wieder auf eine etablierte Medienkonstellation, die nicht nur in ihrer räumlich-infrastrukturellen Ausprägung als Totalität erscheint (»societal scale«), sondern auch in ihrer Zeitlichkeit und Historizität. Auch kritische Gegenwartsdiagnosen fallen dieser Rhetorik bis zu einem gewissen Maße anheim, wenn sie beispielsweise die »Ära« der »Sensor Society« als Ausgangspunkt ihrer Kritik nehmen. Die Ubiquität der mobilen, pervasiven und vernetzten Sensoren evoziert nicht die ständige Rede einer *newness* der Medientechnologien, sondern im Gegenteil die Rede von ihrer – im Sinne einer anhaltenden Gegenwart verstandenen – *givenness* als Kulminationspunkt einer kontinuierlichen, auf bestimmten Zukunftsvisionen ausgerichteten Technologieentwicklung sowie darüber hinaus als Ausgangspunkt weiterer Innovationen. Derartige Rhetoriken vernachlässigen erstens die lokale und situative Materialität von Sensing-Vorhaben und allgemein der Datafizierungsprozesse (vgl. Burkhardt et al. 2022). Die Gegebenheitsrhetorik geht darüber hinaus zusätzlich mit einer Naturalisierung der konkreten Wissenstechnologien einher, insbesondere der Modellierung und Kontrolle sogenannter *mobile sensor networks*, die – wie dies ein kurzer Exkurs in die Geschichte der mobilen Adressierung und der drahtlosen Sensornetze gezeigt hat – eng mit der Genese der Mobilfunknetze und der Sensornetze verstrickt sind, ohne dabei immer schon auf die Involvierung von menschlichen Nutzer*innen abzielen. Die Prämisse einer *givenness* der gegenwärtigen Medienkonstellation wird dann aber auch zum Ausgangspunkt einer »discursive produc-

tion of future-making« (Dourish/Mainwaring 2012), insofern sie das Zukunftsdenken innerhalb dieser Diskurse und Schauplätze weiter kolonialisiert. Eine Medien- und Wissensgeschichte des Mobile Crowdsensing hingegen kann die heterogenen historischen Verstrickungen von Infrastrukturentwicklung, Medien- und Wissenstechnologien und ihren Diskursschauplätzen ab der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts insbesondere im Hinblick auf die gegenseitige Bezüglichkeit der drei Kernaspekte – Mobilität, Sensing, Crowd – in ihren Kontinuitäten und Diskontinuitäten sichtbar machen (vgl. Schröter 2023).

Literatur

- Agre, Philip E. (1994): »Surveillance and Capture: Two Models of Privacy«, in: *The Information Society*, 10(2), S. 101–127.
- Andrejevic, Mark/Mark Burdon (2015): »Defining the Sensor Society«, in: *Television & New Media*, 16(1), S. 19–36.
- Ang, Li-Minn/Kah P. Seng (2016): »Big Sensor Data Applications in Urban Environments«, in: *Big Data Research*, 4, S. 1–12.
- Ark, Wendy S./Ted Selker (1999): »A Look at Human Interaction with Pervasive Computers«, in: *IBM Systems Journal*, 38(4), S. 1–5.
- Balbi, Gabriele/Paolo Magaudda (2018): *A History of Digital Media. An Intermedia and Global Perspective*, New York/London: Routledge.
- Bar-Noy, Amotz/Ilan Kessler (1993): »Tracking Mobile Users in Wireless Communications Networks«, in: *IEEE Transactions on Information Theory*, 39(6), S. 1877–1886.
- Borbach, Christoph/Tristan Thielmann (2019): »Über das Denken in Ko-Operationenketten. Arbeiten am Luftlagebild«, in: Sebastian Gießmann/Tobias Röhl/Ronja Trischler (Hg.), *Materialität der Kooperation*, Wiesbaden: Springer, S. 115–167.
- Boulos, Maged N Kamel/Bernd Resch/David N Crowley/John G Breslin/Gunho Sohn/Russ Burtner/William A Pike/Eduardo Jezierski/Kuo-Yu Slayer Chuang (2011): »Crowdsourcing, Citizen Sensing and Sensor Web Technologies for Public and Environmental Health Surveillance and Crisis Management: Trends, OGC Standards and Application Examples«, in: *International Journal of Health Geographics*, 10(67), S. 1–29.
- Burke, Jeffrey A./Deborah Estrin/Mark Hansen/Andrew Parker/Nithya Ramanathan/Sasank Reddy/Mani B Srivastava (2006): »Participatory Sensing«, in: *Proceedings of the Fourth International Conference on Embedded Networked Sensor Systems*: Oct. 31 – Nov. 3, 2006, Boulder, Colorado, USA.
- Burkhardt, Marcus/Daniela van Geenen/Carolin Gerlitz/Sam Hind/Timo Kaerlein/Danny Lämmerhirt/Axel Volmar (Hrsg.) (2022): *Interrogating Datafication. Towards a Praxeology of Data*, Bielefeld: transcript Verlag.

- Buschauer, Regine (2014): »(Very) Nervous Systems. Big Mobile Data«, in: Ramón Reichert (Hg.), *Big Data: Analysen zum digitalen Wandel von Wissen, Macht und Ökonomie* (Digitale Gesellschaft 3), Bielefeld: transcript Verlag, S. 405–436.
- Chakeri, Alireza/Xin Wang/Luis G. Jaimes (2022): »A Vehicular Crowdsensing Market for AVs«, in: *IEEE Open Journal of Intelligent Transportation Systems*, 3, S. 278–287.
- Cooper, George R./Ray W. Nettleton (1983): »Communications: Cellular Mobile Technology: The Great Multiplier: It Can Greatly Expand Mobile Communications, but Some Technical and Regulatory Issues Remain Unsolved«, in: *IEEE Spectrum*, 20(6), S. 30–37.
- Curien, Nicolas (1998): »L'économie des réseaux«, in: *Panorama des Télécommunications* (11).
- Dantu, Karthik/Mohammad Rahimi/Hardik Shah/Sandeep Babel/Amit Dhariwal (2005): »Robomote: Enabling Mobility in Sensor Networks«, in: *IPSN 2005. Fourth International Symposium on Information Processing in Sensor Networks*, S. 404–409.
- Dostal, M. Brad C.A.J. (2001): *Enhancing Situational Understanding through the Employment of Unmanned Aerial Vehicles*. Abrufbar unter https://www.globalsecurity.org/military/library/report/call/call_01-18_ch6.htm, (Stand: 29.08.2023)
- Dourish, Paul/Genevieve Bell (2011): *Divining a Digital Future. Mess and Mythology in Ubiquitous Computing*, Cambridge, Mass: The MIT Press.
- Dourish, Paul/Scott D. Mainwaring (2012): »UbiComp's Colonial Impuls«, in: Anind K. Dey (Hg.), *Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing*, New York, NY, S. 133–142.
- Estrin, Deborah/David Culler/Kris Pister/Gaurav Sukhatme (2002): »Connecting the Physical World with Pervasive Networks«, in: *IEEE Pervasive Computing*, 1(1), S. 59–69.
- Friedrich, Kathrin (2022): »Tracking«, in: Heiko Christians/Matthias Bickenbach/Nikolaus Wegmann (Hg.), *Historisches Wörterbuch des Mediengebrauchs: Band 3*, Göttingen: Böhlau, S. 631–649.
- Gabrys, Jennifer (2014): »Programming Environments: Environmentalty and Citizen Sensing in the Smart City«, in: *Environment and Planning D: Society and Space*, 32(1), S. 30–48.
- Gabrys, Jennifer (2016): *Program Earth. Environmental Sensing Technology and the Making of a Computational Planet* (Electronic Mediations 49), Minneapolis/London: University of Minnesota Press.
- Ganti, Raghu/Fan Ye/Hui Lei (2011): »Mobile Crowdsensing: Current State and Future Challenges«, in: *IEEE Communications Magazine*, 49(11), 32–39.
- Gießmann, Sebastian (2012): *Die Verbundenheit der Dinge*, Dissertation (Kaleidogramme Band 114), Berlin: Humboldt-Universität zu Berlin.

- Hansen, Mark (2012): »Ubiquitous Sensibility«, in: Jeremy Packer/Stephen B. Crofts Wiley (Hg.) *Communication Matters: Materialist Approaches to Media, Mobility and Networks*, Abingdon, Oxon/New York, N.Y.: Routledge.
- Kumar, Srikanta/David Shepherd (2001): »SensIT: Sensor Information Technology for the Warfighter«, in: *Proceedings of the 4th International Conference on Information Fusion*.
- Lane, Nicholas et al. (2010): »A Survey of Mobile Phone Sensing«, in: *IEEE Communications Magazine*, 48(9), S. 140–150.
- Latour, Bruno (2005): »From Realpolitik to Dingpolitik or How to Make Things Public«, in: Bruno Latour/Peter Weibel (Hg.), *Making Things Public: Atmospheres of Democracy*, Cambridge, Mass.: MIT Press, S. 4–31.
- Lu, Chao/Xunbo Li/Wenjie Yu/Zhi Zeng/Mingming Yan/Xiang Li (2021): »Sensor Network Sensing Coverage Optimization with Improved Artificial Bee Colony Algorithm Using Teaching Strategy«, in: *Computing*, 103(7), S. 1439–1460.
- Mondada, Lorenza (2021): *Sensing in Social Interaction. The Taste for Cheese in Gourmet Shops*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Murdock, Graham/Michael Pickering (2009): »The Birth of Distance: Communications and Changing Conceptions of Elsewhere«, in: Michael Bailey (Hg.), *Narrating Media History*, London: Routledge.
- Parks, Lisa/Nicole Starosielski (Hrsg.) (2015): *Signal Traffic. Critical Studies of Media Infrastructures*, Champaign: University of Illinois Press.
- Pentland, Alex (2012): »Society's Nervous System: Building Effective Government, Energy, and Public Health Systems«, in: *Computer*, 45(1), S. 31–38.
- Roitman, Haggai/Iván Cantador/Miriam Fernández (2011): »Workshop on Multimodal Crowd Sensing (CrowdSens 2012)«, in: *Proceedings of the 21st ACM International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM '12)*, S. 2770–2771.
- Rosenberg, Daniel (2013): »Data before the Fact«, in: Lisa Gitelman (Hg.), »Raw data« Is an Oxymoron, Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, S. 15–39.
- Schabacher, Gabriele (2022): *Infrastruktur-Arbeit. Kulturtechniken und Zeitlichkeit der Erhaltung*, Berlin: Kulturverlag Kadmos.
- Schilt, Carl R./Kenneth S. Norris (1997): »Perspectives on Sensory Integration Systems: Problems, Opportunities, and Predictions«, in: Julia K. Parrish/William M. Hamner (Hg.), *Animal Groups in Three Dimensions*, Cambridge: Cambridge University Press, S. 225–244.
- Scholz, Sebastian (2021): »Sensing the ›Contemporary Condition‹: The Chronopolitics of Sensor-Media«, in: *Krisis | Journal for Contemporary Philosophy*, 41(1), S. 135–156.
- Schröter, Jens (2023): »Medienarchäologie der digitalen Medien«, in: Sven Stollfuß/Laura Niebling/Felix Raczkowski (Hg.), *Handbuch Digitale Medien und Methoden*, Wiesbaden: Springer, S. 1–15.

- Schüttpelz, Erhard/Sebastian Gießmann (2015): »Medien der Kooperation. Überlegungen zum Forschungsstand«, in : Navigationen – Zeitschrift für Medien- und Kulturwissenschaften, 15(1), S. 7–55.
- Seberger, John S./Geoffrey C. Bowker (2021): »Humanistic Infrastructure Studies: Hyper-Functionality and the Experience of the Absurd«, in: Information, Communication & Society, 24(12), S. 1712–1727.
- Sprenger, Florian (2018): »Zehn Elemente einer Medientheorie mobiler Adressierung«, in: Oliver Ruf (Hg.), Smartphone-Ästhetik, Bielefeld: transcript Verlag, S. 243–268.
- Sprenger, Florian/Christoph Engemann (2015): »Im Netz der Dinge. Zur Einleitung«, in: Florian Sprenger/Christoph Engemann (Hg.), Internet der Dinge: Über smarte Objekte, intelligente Umgebungen und die technische Durchdringung der Welt, Bielefeld: transcript Verlag, S. 7–58.
- Star, Susan L./Karen Ruhleder (1996): »Steps Toward an Ecology of Infrastructure: Design and Access for Large Information Spaces«, in: Information System Research, 7(1), S. 111–134.
- Thielmann, Tristan (2014): »Mobile Medien«, in: Jens Schröter (Hg.), Handbuch Medienwissenschaft, Stuttgart: Metzler, S. 350–359.
- Thielmann, Tristan (2019): Sensormedien. Eine medien- und praxistheoretische Annäherung, Siegen: Universität Siegen.
- van Geenen, Daniela/Kaerlein, Timo (2023): »Modalitäten von Kritik in Praktiken des Urban Sensing«, in: Andreas Beinsteiner/Nina Grünberger/Theo Hug/Suzanne Kapelari (Hg.), Ökologische Krisen und Ökologien der Kritik, Innsbruck: Innsbruck University Press, S. 89–108.
- Vehlken, Sebastian (2012): Zootechnologien. Eine Mediengeschichte der Schwarmforschung, Zürich: diaphanes.
- Vehlken, Sebastian (2016): »Multimodal Crowd Sensing«, in: Mathias Denecke/Anne Ganzert/Isabell Otto/Robert Stock (Hg.), ReClaiming Participation: Technology, Mediation, Collectivity, Bielefeld: transcript Verlag, S. 51–66.
- Weiser, Mark/Brown, John S. (1995): Designing Calm Technology. Abrufbar unter: <https://people.csail.mit.edu/rudolph/Teaching/weiser.pdf> (Stand: 23.07.2024).
- Zuboff, Shoshana (2020): The Age of Surveillance Capitalism. The Fight for a Human Future at the New Frontier of Power, New York: Public Affairs.