

Crowdsensing und nachhaltige Entwicklung

Robert Richter

16. Dezember 2013

Die Datenerfassung ist ein kritischer Punkt in vielen Projekten im Bereich der nachhaltigen Entwicklung. Crowdsensing und verwandte Begriffe bezeichnen die Einbindung einer breiten Bevölkerungsschicht in die Datenerfassung. Dieser Ansatz bietet viele Vorteile, geht jedoch auch mit einigen Herausforderungen einher. Im Rahmen dieser Arbeit wird eine Einführung in den Bereich Crowdsensing im Rahmen der nachhaltigen Entwicklung gegeben.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
1.1	Verwandte Gebiete und Begriffsdefinition	4
1.2	Zielsetzung und Aufbau	5
2	Unterstützung von nachhaltiger Entwicklung durch Crowdsensing	5
2.1	Crowdsensing und Datenerfassung	6
2.2	Soziale Auswirkung des Crowdsensing	8
3	Soziale und technische Faktoren im Bereich Crowdsensing	8
3.1	Soziale Faktoren des Crowdsensing	9
3.2	Technische Faktoren des Crowdsensing	10
4	Ausgewählte Beispiel Anwendungen	12
5	Zusammenfassung	14
	Literaturverzeichnis	15

1 Einleitung

Hochwertige und aktuelle Daten sind oft eine notwendige Grundlage sinnvollen Handelns. Dies gilt für die Wirtschaft, die Wissenschaft und auch andere Bereiche des täglichen Lebens. Auch für zielgerichtetes und rationales Handeln im Bereich der nachhaltigen Entwicklung sind derartige Daten unerlässlich. Ohne, zum Beispiel, Daten über den Ist-Zustand einer betrachteten Ressource, ist die Notwendigkeit für eine zukünftige nachhaltige Nutzung nicht sicher. Ebenso wenig können Maßnahmen zur nachhaltigen Nutzung der Ressource fundiert beschlossen werden. Betrachten wir als Beispiel die Reduzierung der Luftverschmutzung in einer Großstadt. Ohne genaue Informationen über Quellen der Verschmutzung und ohne die Identifikation von Schwerpunktgebieten, wird eine erfolgreiche und nachhaltige Verbesserung der Luftqualität nur begrenzt möglich sein.

Die Frage, die sich nun stellt, ist, wie die notwendigen Daten erfasst werden können. Je nach Art des zu messenden Phänomens sind unterschiedliche Sensoren zur Datenerfassung notwendig. Beschädigte Infrastruktur kann mittels einer einfachen Kamera aufgezeichnet werden. Für die Messung der CO₂ Belastung der Luft wiederum sind spezialisierte Sensoren notwendig. Ein klassischer Ansatz zur Messung ist der Aufbau von statischen Sensor Netzen. Messeinheiten werden dabei an als entscheidend angesehenen Punkten installiert. Eine weitere Vorgehensweise ist die stichpunktartige manuelle Messung durch, zum Beispiel, Angestellte einer Behörde.

Die beiden genannten Möglichkeiten haben verschiedene Nachteile gegenüber dem Crowdsensing, einem Ansatz, welcher seit einigen Jahren an Popularität gewinnt. Die Grundidee des Crowdsensing ist es, eine größere Bevölkerungsgruppe in die Erhebung notwendiger Daten einzubinden.

Der Begriff Crowdsensing wird in der Literatur unterschiedlich verwendet. Des Weiteren existieren verschiedene verwandte Konzepte mit gleicher oder zumindest ähnlicher Bedeutung. Auf die Verwendung des Begriffs Crowdsensing im Rahmen dieser Arbeit, wird im nächsten Abschnitt dieses Kapitels eingegangen.

1.1 Verwandte Gebiete und Begriffsdefinition

Der Begriff Crowdsensing ist in der Literatur nicht einheitlich definiert. Er steht neben einer Reihe verwandter Begriffe, wie Participatory Sensing, Citizen Science und Civic Science. Diese Begriffe werden nicht einheitlich verwendet, stehen jedoch alle für den gleichen Grundansatz: Die Einbindung einer größeren Bevölkerungsgruppe bei der Lösung bestimmter, meist wissenschaftlicher, Probleme.

Han, Graham, Vassallo und Estrin (2011) verwenden alle drei Begriffe synonym und betonen die Beteiligung der nicht wissenschaftlichen Bevölkerung an wissenschaftlichen Nachforschungen. Andere Autoren (Bäckstrand, 2003) verwenden Civic Science im Zusammenhang mit der Beteiligung der Allgemeinheit an speziell wissenschaftlichen Projekten. Mendez, Perez, Labrador und Marron (2011) definieren Participatory Sensing über die Verwendung von Mobiltelefonen anstelle von statischen Sensornetzen bei Umweltmessungen. Ebenso finden sich spezialisierte Begriffe wie Urban Sensing (Campbell, Eisenman, Lane, Miluzzo & Peterson, 2006; Cuff, Hansen & Kang, 2008), welche den Fokus auf Crowdsensing-Einsätzen in speziellen Umgebungen, wie zum Beispiel Städten, setzen.

Im Rahmen dieser Arbeit wird Crowdsensing synonym mit den bereits genannten Begriffen verwendet. Crowdsensing wird als jegliche Art von Ansatz verstanden, welcher eine größere und möglicherweise inhomogene Bevölkerungsgruppe bei der Messung eines Phänomens mittels technologischer Unterstützung einbindet. Es wird dabei nicht zwischen einem Einsatz im rein wissenschaftlichen Rahmen und einem Einsatz mit eventuell ebenfalls wirtschaftlichen oder politischen Hintergrund unterschieden.

Ganti, Ye und Lei (2011) unterscheiden zwischen zwei Arten von Crowdsensing: Personal und Community. Dabei setzt Personal Crowdsensing den Fokus auf Messungen von Individuen, zum Beispiel zur Überwachung von Gesundheitswerten. Community Crowdsensing wird hingegen als gemeinschaftliche Messung größerer Phänomene verstanden, wobei jede Einzelmessung einen Teil des Gesamtbildes ausmacht. Letzteres entspricht dem Verständnis von Crowdsensing im Rahmen dieser Arbeit.

Der Begriff Opportunistic Sensing, welcher ebenfalls in der Literatur zu finden ist, beschreibt einen Modus des Crowdsensing, bei welchen Daten automatisch und wann immer möglich gesammelt werden. Dem gegenüber steht die manuelle proaktive Messung durch einen Menschen (Maisonneuve, Stevens, Niessen, Hanappe & Steels, 2009; Ganti et al., 2011).

Wenn im Rahmen dieser Arbeit allgemein von Messungen geschrieben wird, ist damit die Erfassung von Daten über ein bestimmtes Phänomen gemeint. Der Begriff bezieht sich daher nicht allein auf das Erfassen von physikalischen oder chemischen Größen, wie Lautstärke oder CO₂- Anteil der Luft. Entsprechend wird das Erzeugen eines Pflanzenphotos auch als Messung im weitesten Sinne verstanden, wenn dieses beispielsweise im Rahmen einer Studie zur Pflanzenentwicklung geschieht.

1.2 Zielsetzung und Aufbau

Das Ziel dieser Arbeit ist es, eine Einführung in das Thema Crowdsensing zu geben. Diese soll als Ausgangspunkt für eine Vertiefung des Themas genutzt werden können.

In Kapitel 2 werden Einsatzmöglichkeiten des Crowdsensing im Bereich der nachhaltigen Entwicklung aufgezeigt. Dabei wird ebenfalls auf Vor- und Nachteile gegenüber alternativen Ansätzen eingegangen. Kritische Faktoren und Herausforderungen bei der Anwendung von Crowdsensing werden in Kapitel 3 vorgestellt. Ausgewählte Beispiele für den Einsatz von Crowdsensing im Rahmen von wissenschaftlichen Studien und unter realen Bedingungen werden in Kapitel 4 gegeben. Als Abschluss der Arbeit enthält das Kapitel 5 eine Zusammenfassung des Themas.

2 Unterstützung von nachhaltiger Entwicklung durch Crowdsensing

Im Folgenden werden zwei Bereiche der nachhaltigen Entwicklung betrachtet, welche durch Crowdsensing unterstützt werden können: Die Datenerfassung bei Nachhaltigkeitsprojekten und soziale Faktoren der nachhaltigen Entwicklung.

Wie bereits in Kapitel 1 geschrieben, kann die Datenerfassung als ein kritischer Punkt eines Projektes im Bereich der nachhaltigen Entwicklung angesehen werden. Daten werden verwendet, um Modelle zu generieren und Simulationen durchzuführen. Diese wiederum sind Grundlagen für die Auswahl von Maßnahmen. Die Qualität der Daten kann sich daher direkt auf die Qualität der ergriffenen Maßnahmen auswirken, beziehungsweise die Auswahl einer Maßnahme überhaupt erst ermöglichen.

Im Abschnitt 2.1 dieses Kapitels wird darauf eingegangen, welche Möglichkeiten Crowdsensing bei der Datenerfassung bietet. Dabei wird der Vergleich zu alternativen Ansätzen gezogen.

Die Datenerfassung ist ein wichtiger, jedoch nicht der einzige Bereich, in welchen Nachhaltigkeitsprojekte durch Crowdsensing unterstützt werden können. Der Einsatz von Crowdsensing kann sich auch positiv auf soziale Faktoren auswirken, welche bei der Erreichung von Nachhaltigkeitszielen eine wichtige Rollen spielen. Dieses Thema wird in Abschnitt 2.2 behandelt.

2.1 Crowdsensing und Datenerfassung

Ein klassischer Ansatz zur Erhebung von Daten im Bereich nachhaltiger Entwicklung ist die Verwendung von statischen Sensornetzen. Dabei werden an zentralen Punkten spezielle Messeinheiten errichtet, welche Umgebungsdaten sammeln. Alternativ können, zum Beispiel durch Behörden, selektiv manuelle Messungen durchgeführt werden (Maisonneuve et al., 2009; Mendez et al., 2011; Paulos, Honicky & Goodman, 2007).

Auch wenn beide Ansätze in verschiedenen Bereichen erfolgreich eingesetzt wurden (Hull, Bychkovsky, Zhang, Chen & Goraczko, 2006), haben sie verschieden Nachteile, die in der Literatur thematisiert werden.

Ein zentraler Nachteil ist die teilweise zu geringe Granularität beziehungsweise Repräsentativität der Messungen. Daraus können ungenaue Modelle folgen, deren Nutzen limitiert ist. Paulos et al. (2007) beschreiben dieses Problem im Zusammenhang mit der Identifizierung der Quelle von sporadisch auftretenden beunruhigenden Gerüchen in New Yorker Industriegebieten. Im Zusammenhang mit der Identifizierung von Quellen für Lärmbelästigung wird

das Problem von Maisonneuve et al. (2009) thematisiert. Auch Campbell et al. (2006) betonen die Nachteile statischer selektiver Messungen, die nach Meinung der Autoren ungeeignet sind, um in dynamischen Umgebungen wie Städten effektiv eingesetzt zu werden. Gerade die Messungen von Phänomenen in urbanen Umgebungen stellen klassische Sensornetze vor große Probleme. Die Ursache dafür liegt zum einen in der inhomogenen Infrastruktur großer Städte, zum anderen darin, dass Städte geprägt sind von großer Mobilität (Maisonneuve et al., 2009; Campbell et al., 2006).

Eine weiterer Nachteil sind die teils hohen Kosten, die durch die Installation, die Wartung und den Betrieb von Sensornetzen entstehen (Mendez et al., 2011).

Crowdsensing verspricht sowohl hinsichtlich der Datenmenge als auch hinsichtlich des Kostenfaktors Vorteile gegenüber statischen Sensornetzen und einzelnen selektiven Messungen.

Wie noch in Kapitel 3 ausführlich dargelegt wird, unterscheiden sich Crowdsensing Ansätze unter anderem dahingehend, ob Mobiltelefone oder spezielle Sensoren zur Messung verwendet werden. Die Verbreitung von Smartphones ist heutzutage, zumindest in der westlichen Welt, extrem hoch. Entsprechend existiert eine bereits installierte Infrastruktur mit vorhandener Sensorik, die ausgenutzt werden kann. Dies verspricht deutliche Kostenersparnisse gegenüber statischen Sensoren, die gekauft, gepflegt und betrieben werden müssen. Entsprechend können breitangelegte Messungen im Bereich der Nachhaltigkeit theoretisch mit weit geringeren Hardwarekosten durchgeführt werden, als sie es mit statischen Sensornetzen bei gleicher Datenqualität könnten. Verschiedene Autoren wie Demirbas, Rudra, Rudra und Bayir (2009), Honicky, Brewer, Paulos und White (2008) und Mendez et al. (2011) betonen diese Kostenvorteile.

Wenn davon ausgegangen wird, dass nur ein Prozent der Bewohner einer Großstadt wie Berlin dazu gebracht werden könnten, an einem Crowdsensing Projekt teilzunehmen, stehen bereits Tausende von Sensoren zur Verfügung. Diese ermöglichen eine Menge an Messungen, welche durch statische Netze oder selektive manuelle Messung nicht erreicht werden könnte (Paulos et al., 2007). Verschiedene Autoren, wie zum Beispiel Maisonneuve et al. (2009), betonen des Weiteren die Vorteile von mobilen Sensoren. Ein Gruppe von Menschen, deren Smartphones zur Messung verwendet werden, decken allein durch ihren täglichen Arbeitsweg wahrscheinlich sehr unterschiedliche und großflächige Gebiete ab. Zusätzlich können so auch Innenräume durch Messungen abgedeckt werden, was mit klassischen Sensornetzen in der Regel nicht möglich ist.

Messdaten, welche durch einen Lärmsensor an einer Autobahnabfahrt erhalten wurden, mangelt es an Semantik. Meta-Informationen wie die genau Lärmquelle werden in der Regel nicht verfügbar sein. Die Einbeziehung von Menschen beim Crowdsensing bietet hier viel Potential. Ein Teilnehmer kann bestimmte Messungen manuell mit Meta-Informationen versehen. Eine besonders hohe Lautstärkemessung könnte als Presslufthammer markiert werden. Die Quelle einer hohen Abgasmessung könnte manuell als Reifenwerk identifiziert werden. Des Weiteren, können über manuelle Eingabe des Nutzers Informationen über die Art der Umgebung gesammelt werden. Ein Teilnehmer könnte die Messung einer U-Bahn Station oder seinem Arbeitsplatz zuordnen. Die Bewertung eines Messwertes durch einen Nutzer kann darüber hinaus Informationen darüber liefern, ob ein Phänomen von Menschen als unangenehm empfunden wird. Maisonneuve et al. (2009) nutzen diese Möglichkeiten ausgiebig im Zusammenhang mit Lärmbelästigung.

2.2 Soziale Auswirkung des Crowdsensing

Um Ziele in Bereich der nachhaltigen Entwicklung erreichen zu können, sind zentral gesteuerte Maßnahmen oft wahrscheinlich nicht ausreichend. Ohne ein Umdenken in der Bevölkerung kann in vielen Fällen wahrscheinlich kein langfristiger Erfolg erreicht werden. Die Abgasbelastung in Städten kann, beispielsweise, durch einen optimierten Verkehrsfluss reduziert werden. Ein Umsteigen einer großen Anzahl von Bewohner auf Fahrräder wäre aber möglicherweise effektiver. Um Menschen zu einer Verhaltensänderung zu bewegen, muss zuerst ein Bewusstsein eines Problems geschaffen werden.

Ein positiver Nebeneffekt des Crowdsensing ist, dass ein solches Bewusstsein unterstützt werden kann. Im Fall der aktiven Messung durch Crowdsensing Teilnehmer, kann die Aufmerksamkeit hinsichtlich eines Phänomens direkt gestärkt werden. So berichten Teilnehmer ein Crowdsensing Studie zur Umweltbelastung im Umfeld einer Universität, dass sie sich aktiver damit auseinandergesetzt haben, ob und welche Belastungen in Arealen wie der Bibliothek möglicherweise existieren (Kuznetsov & Paulos, 2010). Crowdsensing Projekte mit einer spielerischen Facette, können derartige Effekte noch verstärken (Han et al., 2011). Selbst Menschen, welche nicht direkt an einem Crowdsensing Projekt teilnehmen, können durch ein solches beeinflusst werden. Allein das Wissen, dass es derartige Projekte gibt, oder die Beobachtung von Messungen, kann eine Steigerung des Problembewusstseins herbeiführen (Kuznetsov & Paulos, 2010).

Wenn Bürger die Möglichkeit erhalten selbstständig Messungen durchzuführen und auf Missstände hinzuweisen, kann eine Demokratisierung im Bereich der nachhaltigen Entwicklung einsetzen. Bewohner einer Stadt könnten selbst auf Verunreinigungen und Probleme hinweisen. Sie könnten ihre Messdaten nutzen, um eine breite Front an Unterstützern aufzubauen, die schließlich die Stadtverwaltung zum Handeln zwingt. Crowdsensing kann Menschen bei der Thematisierung von Nachhaltigkeitsproblemen weniger abhängig von der jeweiligen Regierung machen. Letzteres kann gerade hinsichtlich starker wirtschaftlicher Interessen, welche teilweise mit der Bekämpfung von Umweltbelastung einhergehen, ein wichtiger Erfolgsfaktor sein (Bäckstrand, 2003; Kuznetsov & Paulos, 2010; Paulos et al., 2007).

In diesem Kapitel wurden hervorgehoben, wie Crowdsensing eine nachhaltige Entwicklung positiv unterstützen kann. Zum einen durch die Verbesserungen im Bereich der Datenerhebung, zum anderen durch soziale Auswirkungen. Die Anwendung dieses Ansatzes geht jedoch auch mit Herausforderungen und Problemen einher. Diese sind nicht allein technischer Natur. So wie Crowdsensing soziale Auswirkungen hat, wird es auch durch soziale Faktoren beeinflusst. Die müssen in der Planung und Durchführung von Crowdsensing Projekten berücksichtigt werden. Auf die technische und soziale Faktoren, die im Zusammenhang mit Crowdsensing existieren, wird im nächsten Kapitel eingegangen

3 Soziale und technische Faktoren im Bereich Crowdsensing

Bei der Durchführung eines auf Crowdsensing basierenden Projektes müssen verschiedenen Faktoren beachtet werden. Im Rahmen dieses Kapitels, werden derartige Faktoren vorgestellt.

Wie in Kapitel 2 bereits angedeutet, ist Crowdsensing durch die Einbindung einer breiten Öffentlichkeit ein sozialer Akt. Faktoren wie Vertrauen und Teilnehmermotivation spielen eine große Rolle und müssen berücksichtigt werden. Derartige soziale Faktoren werden in Abschnitt 3.1 besprochen.

Neben den sozialen sind jedoch auch verschiedene technische Faktoren zu berücksichtigen. Gerade wenn Crowdsensing auf Basis von Mobiltelefonen durchgeführt wird, steht eine wahrscheinlich sehr inhomogenen Infrastruktur zur Verfügung. Dadurch existieren viele Probleme, die bei statischen Sensornetzen keine große Rolle spielen. Derartige technische Faktoren werden im Abschnitt 3.2 dargestellt.

3.1 Soziale Faktoren des Crowdsensing

Durch die intensive Einbeziehung von Menschen im Rahmen des Crowdsensing müssen verschiedene soziale Faktoren berücksichtigt werden. Im Gegensatz zu statischen Sensoren haben Menschen Vorurteile, Meinungen, Gefühle, Ziele und Ansprüche, die sich auf den Erfolg eines Crowdsensing Projektes auswirken können (Ganti et al., 2011).

Die erste Frage, die sich stellt, ist welche Zielgruppe als Teilnehmer eines Projektes in Frage kommt. Abhängig von der Art des Projekts und dessen Zielsetzung, kann es sinnvoll oder nicht sinnvoll sein, jeden beliebigen Teilnehmer zu akzeptieren. Soll ein Phänomen in einem begrenzten Lebensbereich untersucht werden, ist eventuell die Begrenzung der Teilnehmer auf eine bestimmte Gruppe nötig. Kuznetsov und Paulos (2010) wählen in einer explorativen Studie zum Crowdsensing in öffentlichen Räumen gezielt einzelne Bevölkerungsgruppen wie Studenten oder Eltern aus. Reddy, Estrin und Srivastava (2010) definieren ein Rahmenwerk, welches die Identifikation passender Teilnehmer ermöglichen soll.

Die Motivation von Teilnehmern ist ein kritischer Punkt des Crowdsensing. Menschen müssen zuerst motiviert werden, an einem solchen Projekt teilzunehmen. Ohne eine ausreichend große Anzahl an teilnehmenden Personen kann Crowdsensing nicht erfolgreich sein (Lee & Hoh, 2010; Brereton, Roe, Foth, Bunker & Buys, 2009; Mendez et al., 2011). Selbst wenn eine ausreichend große Gruppe von Personen zur Teilnahme bewegt werden konnte, stellt sich das Problem der anhaltenden Motivation (Lee & Hoh, 2010). Es ist wahrscheinlich, dass viele Projekte im Bereich der nachhaltigen Entwicklungen Messungen über einen längeren

Zeitraum benötigen (Holzbauer, Szymanski & Bulut, 2012). Sollten nur Teilnehmer für einen kurzen Teil des Projektes zur Verfügung stehen, ist nicht viel gewonnen. In der Literatur finden sich verschiedene Grundansätze für eine dauerhafte Motivation. Gerade falls eine große und inhomogene Teilnehmergruppe eingebunden werden soll, kann die notwendige Art der Motivation von Teilnehmer zu Teilnehmer stark variieren. Einige Menschen lassen sich eventuell über rein altruistische Motive zur Teilnahme bewegen (Kuznetsov & Paulos, 2010). Andere benötigen möglicherweise einen materiellen Anreiz oder müssen über eine spielerische Komponente motiviert werden. Han et al. (2011) kombinierten eine Community mit einem spielerischen Ansatz. Die Autoren argumentieren dabei, dass ein spielerischer Ansatz sich sehr natürlich in einige Crowdsensing Projekte einbinden lässt. Holzbauer et al. (2012) als auch Lee und Hoh (2010) empfehlen marktbasierende Mechanismen, die Personen materiell zur anhaltenden Teilnahme motivieren sollen.

Das Thema Vertrauen spielt in mehreren Bereichen eine zentrale Rolle. Die Teilnehmer müssen Vertrauen in das Projekt haben. Sie stellen gegebenenfalls nicht nur ihre private Hardware zur Verfügung, sondern liefern möglicherweise auch private Daten. Hohe Datenschutzstandards sind entsprechend kritisch, um Teilnehmervertrauen aufrecht zu erhalten (Lane et al., 2010). Ebenfalls kann bei bestimmten Projekten das Vertrauen der Teilnehmer zueinander eine wichtige Rolle spielen (Lane et al., 2010). Auf der anderen Seite, muss auch sichergestellt werden, dass den Teilnehmern vertraut werden kann (Gilbert, Cox, Jung & Wetherall, 2010). Sind die produzierten Daten vertrauenswürdig und wurden keine Messfehler begangen? Versuchen Teilnehmer eventuell zielgerichtet Daten zu manipulieren? Der letzte Punkt scheint besonders wichtig zu sein, wenn auf Basis von Crowdsensing Ergebnissen zum Beispiel Gesetze erlassen werden sollen, die Interessen von Lobby Gruppierungen gefährden.

In diesem Abschnitt wurden einige soziale Faktoren vorgestellt, die im Rahmen des Crowdsensing berücksichtigt werden müssen. Die intensive Einbindung von Menschen bringt Vorteile, als auch Herausforderungen. Neben den sozialen Faktoren müssen jedoch auch eine Vielzahl technischer Faktoren berücksichtigt werden. Einige davon werden im nächsten Abschnitt vorgestellt.

3.2 Technische Faktoren des Crowdsensing

Bei der Realisierung eines Crowdsensing Projekts müssen verschiedene technische Entscheidungen getroffen und Herausforderungen bewältigt werden. Im Rahmen dieser Arbeit können nicht alle dargestellt und im Detail besprochen werden. Stattdessen erfolgt eine Auswahl an Punkten, welche sich speziell aus dem gewählten Ansatz ergeben. Im Weiteren werden soziale Faktoren nicht berücksichtigt und es wird davon ausgegangen, dass eine ausreichende Menge an Teilnehmern dauerhaft motiviert werden kann.

Die erste technische Frage, die sich stellt, ist die nach der übergeordneten Systemarchitektur. Auch wenn alternative Ansätze wie Peer-To-Peer Systeme denkbar sind, finden sich in der Literatur primär Beispiele, welche eine zentrale Plattform zur Datenaggregation und Auswertung verwenden (Ganti et al., 2011; Lane et al., 2010; Maisonneuve et al., 2009; Paulos et al., 2007; Mendez et al., 2011). Dies ist, zum Beispiel, ein Web-Server, an welchen die verschiedenen Messgeräte die gesammelten Daten versenden. Diese zentrale Plattform kann

wiederum Quelle für Informationen sein, die von den Messgeräten ausgelesen und verwendet werden können. Ein Teilnehmer an einem Projekt zur Messung der Luftverschmutzung, könnte mittels seines Smartphones aktuelle Daten zum Server senden und Statistiken über den Verlauf der Verschmutzung vom Server abfragen.

Bezüglich der als Messgerät verwendeten Hardware, finden sich in der Literatur drei verschiedenen Ansätze: Die Verwendung von Mobiltelefonen, die Verwendung spezialisierter Geräte oder eine Mischung aus beidem. Ein Beispiel für ein spezialisiertes Geräten wäre ein einfacher CO₂-Sensor mit WLAN Chip zur Datenübertragung. Unter alleiniger Verwendung eines Smartphones könnte zum Beispiel die Umgebungslautstärke gemessen werden. Ein Smartphone könnte auch mit einem spezial Sensor kommunizieren, was einen Mischansatz darstellen würde. Die Auswahl der Hardware hat weitreichende Auswirkung auf andere Faktoren, wie die vorhandenen Rechenressourcen, die Auswertungsinfrastruktur, die Datenqualität und die verfügbare Sensorik.

Heutzutage sind Smartphones in der Bevölkerung sehr verbreitet. Die Verwendung von Mobiltelefonen hat entsprechend den Vorteil, dass man auf eine breite Front an existierender Infrastruktur zugreifen kann (Ganti et al., 2011; Maisonneuve et al., 2009). Um an einem Projekt teilzunehmen, muss ein Interessent im Idealfall nur ein App herunterladen (Lane et al., 2010). Soll für ein Projekt eine spezielle Art von Hardware genutzt werden oder wird besondere Sensorik benötigt, muss diese Teilnehmern erst verfügbar gemacht werden.

Die verfügbare Infrastruktur bei der Verwendung von Smartphones ist potentiell sehr groß, jedoch möglicherweise auch sehr inhomogen. Mobile Telefone unterscheiden sich teils stark. Annahmen über verfügbare Rechenleistung oder verfügbare Sensoren müssen entsprechend mit Vorsicht getroffen werden (Ganti et al., 2011). Alternativ kann ein Teil der verfügbaren Geräte ausgeschlossen werden. Spezielle Hardware hat gegenüber Mobiltelefonen den Vorteil, dass alle verfügbaren Ressourcen wahrscheinlich eindeutig bekannt sind.

Gerade hinsichtlich der verfügbaren Sensorik, kann ein Ansatz basierend auf Smartphones eine Herausforderung sein. Bestimmte Phänomene wie die CO₂-Belastung der Luft werden ohne Zusatzhardware kaum messbar sein. Wiederum können spezialisierte Sensoren eventuell durch eine Kombination aus vorhandenen Sensoren simuliert werden (Lane et al., 2010).

Eine inhomogene Infrastruktur kann sich auf die Qualität der erhaltenen Daten auswirken. Nicht jedes Gerät wird, zum Beispiel, über eine gleichermaßen hochwertige Kamera verfügen. Auch stehen Messanwendungen auf Smartphones hinsichtlich der Ressourcen wahrscheinlich in Konkurrenz zu anderen Anwendungen. Führt der Besitzer während einer Messung ein Telefonat, kann sich dies, beispielsweise, auf die Sampling Rate auswirken. Entsprechend kann es nötig sein, Mindestqualitätswerte zu definieren. Alternativ existieren Ansätze, bei welchen Mittelwerte aus mehreren Messungen gebildet werden, mehrere Messeinheiten gemeinsam Messwerte produzieren oder Lernalgorithmen eingesetzt werden (Lane et al., 2010).

Sowohl für einen Ansatz basierend auf Smartphones, als auch für den Ansatz basierend auf spezieller Hardware finden sich in der Literatur Beispiele. Hull et al. (2006) verwenden spezielle Hardware, welche in Autos installiert wird, um verschiedene Umweltdaten sowie Informationen über Verkehrsaufkommen zu sammeln. Kuznetsov und Paulos (2010) experimentieren mit leichten Sensoren, die von Teilnehmer an beliebigen Punkten angebracht werden können. Eine beispielhafte Verwendung von Smartphones findet sich bei Maisonneuve et al. (2009) im Zusammenhang mit Lärmmessungen. Han et al. (2011) verwenden ebenfalls

Smartphones, um die Auswirkungen von Umweltbelastungen in Städten auf Pflanzen zu untersuchen. Ein Beispiel für einen hybriden Ansatz, die Speziialsensoren mit der Verwendung von Teilnehmer Mobiltelefonen verbindet, findet sich bei Mendez et al. (2011). Sensoren interagieren dabei über Bluetooth mit dem Telefon, welches dann die gesammelten Daten an einen Server überträgt.

4 Ausgewählte Beispiel Anwendungen

In diesem Kapitel werden verschiedene Crowdsensing Projekte kurz vorgestellt. Jedes der ausgewählten Projekte zielt auf die Messung oder Überwachung unterschiedlicher Phänomene. Ausgehend von den angegebenen Quellen können leicht weitere Beispiele für Crowdsensing Anwendungen gefunden werden.

CarTel: Im Rahmen des Projektes CarTel entwickelten Hull et al. (2006) eine Plattform, die Daten von verschiedenen mobilen Sensoren sammelt und Auswertungen auf diesen Daten unterstützt. In einer Fallstudie wurden in Boston (USA) über den Zeitraum von einem Jahr Messungen mittels GPS Sendern in Autos durchgeführt. Die gesammelten Daten wurden unter anderem verwendet, um das Verkehrsaufkommen der Stadt sowie das Verhalten der Fahrer zu analysieren. Die Fallstudie wurde nicht im direkten Zusammenhang mit Nachhaltigkeitszielen durchgeführt. Derartige Daten könnten jedoch genutzt werden, um die Verkehrsführung oder die Verfügbarkeit öffentlicher Verkehrsmittel zu optimieren. Dies könnte zu einer Verringerung von Abgasausstoß oder zu einer Verringerung von Treibstoffverbrauch beitragen.

NoiseTub: Maisonneuve et al. (2009) stellen ein Projekt vor, das die Überwachung der Lärmverschmutzung innerhalb einer Stadt mittels Crowdsensing zum Ziel hat. Teilnehmern wird eine Anwendung für Mobiltelefone zur Verfügung gestellt, die manuelle Messungen von Lärmpegeln ermöglicht. Eine Messung kann durch Teilnehmer mit Meta-Informationen über die Lärmquelle und den Ort versehen werden. Dies geschieht in Form von Schlagworten. Die gesammelten Daten werden an eine zentrale Plattform übertragen, welche die Messungen unter anderem in Form von Lärmkarten visualisiert. Die Autoren versprechen sich von diesem Ansatz, dass Ursachen für Lärm und das Lärmempfinden betroffener Personen besser verstanden werden können. Dieses Wissen soll genutzt werden, um Lärmbelastung effektiv zu reduzieren.

P-Sense: Das System P-Sense, das von Mendez et al. (2011) vorgestellt wird, soll die Messung von Luftverschmutzung mittels Crowdsensing ermöglichen. Die Messungen werden mittels spezieller Sensoren zur Messungen von Luftverschmutzung durchgeführt. Diese Sensoren kommunizieren mittels Bluetooth mit Mobil Telefonen, welche die erhaltenen Daten

darstellen und an einen zentrale Server übertragen können. Dieser Server bietet unter anderem die Möglichkeit, die vorhandenen Daten über die Luftqualität, auf Google Map zu visualisieren. Der Einsatz von Crowdsensing soll laut der Autoren deutlich detailliertere Daten liefern, als dies statische Sensornetze konnten. Des Weiteren sollen so Messwerte von bisher nicht betrachteten Orten erhalten werden können.

BudBurst: BudBurst¹ ist ein Crowdsensing Projekt, in welchem Teilnehmer dazu aufgerufen sind, den Lebens- und Wachstumszyklus von Pflanzen zu dokumentieren. Die gesammelten Daten werden verwendet, um Rückschlüsse auf die Auswirkungen des Klimawandels auf die Umwelt zu ziehen. Teilnehmer können Daten über Pflanzen zusammen mit Geo-Informationen mittels einer Mobiltelefon Anwendung (BudBurst Mobile) erfassen. Die erfassten Daten werden von einem zentralen Server verarbeitet und können von diesem ebenfalls abgefragt werden. Han et al. (2011) untersuchen spielerische Motivationsmechanismen, welche durch BudBurst Mobile implementiert werden.

CreekWatch: Mittels der von IBM Research entwickelten iPhone Anwendung CreekWatch², soll die Qualität von Wasser überwacht werden. Nutzer der Anwendung können manuell verschiedene Informationen über Gewässer erfassen. Diese umfassen die Menge an Wasser, die Flussstärke, sichtbare Verschmutzung sowie ein Foto. Mittels der gesammelten Daten sollen Wissenschaftler und Behörden in der Planung von Umweltprogrammen unterstützt werden.

GarbageWatch: Das Center for Embedded Networked Sensing³ (CENS) der Universität of California⁴ (UCLA) hat verschiedene Crowdsensing Projekte im Rahmen ihrer Forschungsarbeit durchgeführt. Im Rahmen des Projekts GarbageWatch konnten Teilnehmer Verschmutzungen im Umfeld der Universität mittels ihrer Mobil Telefone dokumentieren. Die gesammelten Daten wurden verwendet, um Verschmutzungen zu reduzieren und Standorte für neue Müllcontainer zu planen. Informationen zu diesen und vielen weiteren Crowdsensing Projekten des CENS finden sich auf der Participatory Sensing Seite Fakultät⁵.

¹<http://budburst.org>

²<http://creekwatch.researchlabs.ibm.com>

³<http://research.cens.ucla.edu>

⁴<http://www.ucla.edu>

⁵<http://research.cens.ucla.edu/urban>

5 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Einführung in das Gebiet Crowdsensing gegeben. Unter Crowdsensing versteht man die Einbindung eines Teil der Bevölkerung in die Datenerhebung bei verschiedenen Projekte. Eine Reihe verwandter Begriffe wie Participatory Sensing beschreiben dieselbe oder eine ähnliche Grundidee.

Im Zusammenhang mit der Datenerfassung in Projekten der nachhaltigen Entwicklung bietet Crowdsensing verschiedene Vorteile gegenüber statischen Sensornetzen. Daten können potentiell in größerem Umfang, mit feinerer Granularität und zu geringeren Kosten erhoben werden. Des Weiteren können Teilnehmer Messwerte manuell mit Meta- und Kontextinformationen versehen. Crowdsensing kann es Bürgern ermöglichen, aktiv an Nachhaltigkeitsprojekte teilzunehmen und dadurch Aufmerksamkeit für Probleme zu schaffen. Es kann Bürger bei der Feststellung von Missständen unabhängiger von offiziellen Vertretern der Regierung machen.

Bei der Durchführung eines Crowdsensing Projektes müssen verschiedene soziale und technische Faktoren berücksichtigt werden. Die Auswahl und Motivation der Teilnehmer, sowie das Vertrauen zwischen und zu Teilnehmern sind Beispiel für soziale Faktoren. Die inhomogene Infrastruktur bei der Verwendung von Teilnehmertelefonen zur Messung, ist Teil der technischen Faktoren.

Crowdsensing wurde sowohl im Rahmen von wissenschaftlichen Fallstudien als auch in praktischen Anwendungen erfolgreich angewandt. Es existieren unter anderem Anwendungen im Bereich der Verkehrsmessung (Hull et al., 2006), der Messung von Luftverschmutzung (Mendez et al., 2011), der Messung von Lärmbelästigung (Maisonneuve et al., 2009) sowie im Bereich des Klimawandels (Han et al., 2011).

Literaturverzeichnis

- Bäckstrand, K. (2003, November). Civic Science for Sustainability: Reframing the Role of Experts, Policy-Makers and Citizens in Environmental Governance. *Global Environmental Politics*, 3 (4), 24–41. Zugriff auf <http://dx.doi.org/10.1162/152638003322757916>
- Brereton, M., Roe, P., Foth, M., Bunker, J. M. & Buys, L. (2009). Designing participation in agile ridesharing with mobile social software. In *Proceedings of the 21st annual conference of the Australian computer-human interaction special interest group: Design: Open 24/7* (S. 257–260). ACM. Zugriff auf <http://doi.acm.org/10.1145/1738826.1738868>
- Campbell, A. T., Eisenman, S. B., Lane, N. D., Miluzzo, E. & Peterson, R. A. (2006). People-centric urban sensing. In *Proceedings of the 2nd annual international workshop on wireless internet*. ACM. Zugriff auf <http://doi.acm.org/10.1145/1234161.1234179>
- Cuff, D., Hansen, M. & Kang, J. (2008, März). Urban sensing: out of the woods. *Commun. ACM*, 51 (3), 24–33. Zugriff auf <http://doi.acm.org/10.1145/1325555.1325562>
- Demirbas, M., Rudra, C., Rudra, A. & Bayir, M. (2009). imap: Indirect measurement of air pollution with cellphones. In *Pervasive computing and communications, 2009. percom 2009. IEEE international conference on* (S. 1-6).
- Ganti, R., Ye, F. & Lei, H. (2011). Mobile crowdsensing: current state and future challenges. *Communications Magazine, IEEE*, 49 (11), 32-39.
- Gilbert, P., Cox, L. P., Jung, J. & Wetherall, D. (2010). Toward trustworthy mobile sensing. In *Proceedings of the eleventh workshop on mobile computing systems & applications* (S. 31–36). ACM. Zugriff auf <http://doi.acm.org/10.1145/1734583.1734592>
- Han, K., Graham, E., Vassallo, D. & Estrin, D. (2011). Enhancing motivation in a mobile participatory sensing project through gaming. In *2011 IEEE third international conference on privacy, security, risk and trust (passat) and 2011 IEEE third international conference on social computing (socialcom)* (S. 1443-1448).
- Holzbauer, B. O., Szymanski, B. K. & Bulut, E. (2012). Socially-aware market mechanism for participatory sensing. In *Proceedings of the first ACM international workshop on mission-oriented wireless sensor networking* (S. 9–14). ACM. Zugriff auf <http://doi.acm.org/10.1145/2348656.2348661>
- Honicky, R., Brewer, E. A., Paulos, E. & White, R. (2008). N-smarts: networked suite of mobile atmospheric real-time sensors. In *Proceedings of the second ACM sigcomm workshop on networked systems for developing regions* (S. 25–30). ACM. Zugriff auf <http://doi.acm.org/10.1145/1397705.1397713>
- Hull, B., Bychkovsky, V., Zhang, Y., Chen, K. & Goraczko, M. (2006). Cartel: a distributed mobile sensor computing system. In *Proceedings of the 4th international conference on embedded networked sensor systems* (S. 125–138). ACM. Zugriff auf <http://doi.acm.org/10.1145/1182807.1182821>

- Kuznetsov, S. & Paulos, E. (2010). Participatory sensing in public spaces: activating urban surfaces with sensor probes. In *Proceedings of the 8th acm conference on designing interactive systems* (S. 21–30). ACM. Zugriff auf <http://doi.acm.org/10.1145/1858171.1858175>
- Lane, N., Miluzzo, E., Lu, H., Peebles, D., Choudhury, T. & Campbell, A. (2010). A survey of mobile phone sensing. *Communications Magazine, IEEE*, 48, 140-150.
- Lee, J.-S. & Hoh, B. (2010). Sell your experiences: a market mechanism based incentive for participatory sensing. In *2010 ieee international conference on pervasive computing and communications (percom)* (S. 60-68).
- Maisonneuve, N., Stevens, M., Niessen, M. E., Hanappe, P. & Steels, L. (2009). Citizen noise pollution monitoring. In *Proceedings of the 10th annual international conference on digital government research: Social networks: Making connections between citizens, data and government* (S. 96–103). Digital Government Society of North America. Zugriff auf <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1556176.1556198>
- Mendez, D., Perez, A., Labrador, M. & Marron, J. (2011). P-sense: A participatory sensing system for air pollution monitoring and control. In *2011 ieee international conference on pervasive computing and communications workshops (percom workshops)* (S. 344-347).
- Paulos, E., Honicky, R. & Goodman, E. (2007). Sensing atmosphere. In *Acm conference on embedded networked sensor systems (sensys. 2007)*. ACM Press.
- Reddy, S., Estrin, D. & Srivastava, M. (2010). Recruitment framework for participatory sensing data collections. In *Proceedings of the 8th international conference on pervasive computing* (S. 138–155). Springer-Verlag.