

Beiträge zu einer Technologie für Anwendungen des Participatory Sensing

Andreas ABECKER, Wassilios KAZAKOS,
Julio de MELO BORGES und Valentin ZACHARIAS

*Dieser Beitrag wurde nach Begutachtung durch das Programmkomitee als „reviewed paper“
angenommen.*

Zusammenfassung

Im akademischen Bereich und in der Bürgerbeteiligung gibt es viele Beispiele für Participatory-Sensing-Anwendungen zur Erfassung von Umwelt- und Infrastrukturdaten durch einen breiten Kreis von Nutzern. Damit solche Ansätze den Weg aus Forschungsexperimenten in die breite Praxis und kommerzielle Nutzung finden, ist eine belastbare Software-Technik erforderlich, die das kostengünstige Aufsetzen von Anwendungen ohne vertiefte technologische Kenntnisse ermöglicht. Dieser Beitrag führt eine detaillierte Begriffsbildung durch, skizziert eine generische Software-Architektur und diskutiert offene Forschungsfragen.

1 Einleitung

1.1 Motivation und Anwendungsbeispiele

Seit einigen Jahren gibt es großes wissenschaftliches Interesse an der Einbindung von Menschen in Sensornetzwerke und allgemein in die Bereitstellung und Pflege von Daten/ Informationen mit Raumbezug („Participatory Sensing“, PS). Vielfältige Anwendungsgebiete und Pilotprojekte (s. Kap. 1.2) zeigen das enorme kommerzielle und gesellschaftliche Potenzial solcher Anwendungen; dieses große Potenzial beruht einerseits darauf, dass mobile Endgeräte (Smartphones, Media Tablets) mit Fähigkeiten zur GPS-Lokalisierung inzwischen den breiten Massenmarkt erreicht haben; andererseits darauf, dass Grundeinstellung und „Philosophie“ des Web 2.0 inzwischen so breite Bevölkerungskreise erreicht haben, dass Crowdsourcing als Idee in mannigfaltigen Anwendungsszenarien starke Kostenreduzierung durch große Verbreitung bei freiwilligen Nutzern möglich machen kann.

Bisher ist jedoch jede PS-Anwendung noch eine eigenständige Software-Entwicklung, weswegen Kosten und Realisierungsdauer für jede Anwendung recht hoch sein können. Daher liegt es nahe, sich mit einem allgemeinen Rahmenwerk, einer generischen Software-Architektur und wiederverwendbaren Technologien und Software-Bausteinen für PS zu beschäftigen, sodass in Zukunft derartige Anwendungen möglichst einfach und kostengünstig, mit reproduzierbarer Qualität, erstellt werden können. Der vorliegende Beitrag soll Schritte in diese Richtung aufzeigen.

Ausprägungen der Technologie, die wir betrachten wollen, werden als *Urban Sensing* (CAMPBELL et al. 2006, CUFF et al. 2008), *Citizen Sensing* (NAGARAJAN 2009, SHETH 2009), *Participatory Sensing* (CAMPBELL et al. 2006, GOLDMAN et al. 2009), *Human Centered Sensing* (JIANG & MCGILL 2010), *People-Centric Sensing* (CAMPBELL et al. 2008) oder *Opportunistic Sensing* (KAPADIA et al. 2009) bezeichnet. In Verbindung mit Echtzeit-GIS-Analysen wird auch der Begriff *Live Geography* verwendet (RATTI et al. 2009, RESCH 2012).

All diesen Ansätzen ist gemeinsam, dass sie zur Sammlung von georeferenzierten Daten keine fest installierten Sensoren und üblicherweise keine Spezial-Hardware verwenden, sondern Mobiltelefone (mit GPS, Kamera, Mikrophon, ...), mobile Tablet-PCs oder andere von Menschen während ihrer Alltagstätigkeit getragene Geräte und Sensoren (z. B. Navigationsgeräte). Teilweise werden auch über Web-Anwendungen Berichte eingesammelt.

Beispielhafte Nutzungsszenarien sind:

- Erfassung, Beschreibung und Bewertung von Schäden an Straßen und Wegen, um Wartungsarbeiten gezielter durchzuführen und Instandhaltungskosten zu sparen.
- Erfassung und Auswertung der Verbreitung von Pflanzen und Tieren (z. B. Storchennester), um Umweltschutzmaßnahmen gezielt durchführen zu können.
- Erfassung, Beschreibung und Bewertung von Schädlingsbefall und Pflanzenkrankheiten, um Probleme rechtzeitig erkennen und gezielt bekämpfen zu können.
- Erfassung, Beschreibung und Bewertung von Schäden nach Stürmen, starken Regenfällen oder anderen Wetterereignissen (Schäden wie umgeknickte Bäume, überflutete Wege oder umgeknickte Strommasten), um begrenzte Ressourcen gezielter und schneller für Reparatur und Schadensbehebung einzusetzen.
- Regelmäßige Kontrolle des Zustands von verteilter Infrastruktur (z. B. dezentraler Lagergebäude oder Liegenschaften). Durch die effiziente Verteilung dieser Aufgaben an Mitarbeiter/innen, die evtl. ohnehin in der Nähe sind, lassen sich die Kosten für diese Kontrollen senken.

Konkrete Projekte und Anwendungen:

- **Städtische Infrastruktur:** Wheelmap, SeeClickFix, FixMyStreet, Everyblock, CitySourced, Fill that hole, NextHamburg, Mängelmelder.de, Frankfurt gestalten, Mark-a-Spot, Maerker Brandenburg, Meldeplattform Radverkehr, WikiCity, Biketastik, What's Noisy, Noise Tube, NoiseSpy, Unortkataster Köln, KA-Feedback.
- **Umwelt- und Naturschutz:** PEIR (Personal Environmental Impact Report), National Weather Server Twitter Storm Reporting Program, What's Invasive, WeTab, Sense the Beach, Frackracker, RAPID, h2.0, Geodave, naturgucker.de, artenfinder.de, Web-Fauna, Informationssystem "Vogelzählung in Deutschland", eMapper.
- **Katastrophenschutz:** ROVER, InSTEDD, Outbreaks Near Me, Ushahidi, RapidSMS.
- **Weitere Bereiche:** OpenStreetMap und AndWellness sowie Forschungsprototypen und -projekte in Bereichen wie Stadtplanung, Verkehrswesen oder Gesundheit.

1.2 Grundlegende Begriffsbildung

Um die Variationsbreite des Begriffs in Theorie und Praxis abzudecken, leiten wir eine umfassende *Arbeitsdefinition* ab:

Beim Participatory Sensing sammelt (a) eine Menge von Personen (b) in einer Datensammelkampagne (c) mithilfe weitverbreiteter mobiler Endgeräte (d) orts- oder raumbezogene, häufig auch zeitbezogene, Messwerte, Daten oder Informationen, welche (e) mit den eingebauten Mechanismen des mobilen Endgeräts erfasst werden können. Die Datensammler leiten ihre Informationen an eine zentrale Instanz (Server) weiter, die diese für bestimmte Zwecke weiter verarbeitet. Die Art der zu sammelnden Informationen ist im Szenario vordefiniert. Bei komplexen Szenarien kann die zentrale Instanz die Koordination der potenziellen Sammler übernehmen.

Konkrete PS-Szenarien variieren in verschiedenen Dimensionen der Elemente (a) – (e):

- (a) Die *Datensammler* können zum Startzeitpunkt bereits alle bekannt sein oder sich im Laufe der Kampagne erst melden. Sie können zum Organisator der Kampagne in einem formal definierten Zusammenhang stehen (Mitarbeiter, registrierte Ehrenamtliche), müssen dies aber nicht („allgemeine Öffentlichkeit“).
- (b) Die Datensammelkampagne findet in der Praxis immer innerhalb eines *räumlich abgegrenzten* Betrachtungsgebiets statt. *Zeitlich* kann eine Kampagne begrenzt oder unbegrenzt sein.
- (c) Es ist eine definierende Eigenschaft des betrachteten Themas, dass wir hier keine aufgabenspezifische Spezialhardware betrachten, sondern netzwerkfähige mobile Endgeräte für den *Massenmarkt*, wie Smartphones und Media Tablets (iPad etc).
- (d) *Raumbezug* besteht heutzutage i. d. R. in der Verortung an einer Punktcoordinate, sehr viel seltener auch an einer Linie (z. B. eine Wanderstrecke). Wir verallgemeinern dies auch auf Flächengeometrien.
- (e) Als *Sensortechnologie* stehen zunächst die eingebauten Mechanismen des mobilen Endgeräts zur Verfügung (insbesondere Text- und Spracheingabe, Audio-, Bild- und Videoerfassung; sowie die GPS-Funktionen zur Herstellung des Geobezugs; aber auch Drei-Achsen-Beschleunigungssensor, Gyroskop, Umgebungslichtsensor, Magnetfeldsensor, Gyrosensor, Feuchtigkeitssensor; in Zukunft voraussichtlich auch noch weitere, z. B. für den Luftdruck). Diskutabel, aber in spezifischen Szenarien sinnvoll, sind leicht an das Endgerät ankoppelbare Zusatzsensoren, z. B. zur Überwachung von Vitalsignalen des Nutzers (Puls, Hautwiderstand).

Weitere Aspekte, bezüglich derer sich PS-Szenarien unterscheiden können:

- Die Datensammler können anonym oder authentifiziert agieren.
- Die Teilnahme an einer Datensammelkampagne kann auf Eigeninitiative des Datensammler geschehen oder aufgrund einer Anfrage des zentralen Servers an bestimmte Personen. Je nach Szenario kann diese Anfrage ein verbindlicher Auftrag oder eine unverbindliche Anfrage sein. Die Auswahl der anzufragenden Personen kann rollen-, personen- oder ortsbasiert bzw. durch Kombination verschiedener Faktoren erfolgen.
- Datensammelaufgaben können Erst- oder Einmalerfassungen von Informationen darstellen oder Aktualisierungen, Änderungen oder die Verifikation eingegangener Daten betreffen.

Mit dieser Arbeitsdefinition möchten wir alle Szenarien erfassen, die typischerweise mit den Begriffen *Participatory Sensing* bzw. *Urban, Citizen, Human-Centered, People-Centric* oder *Opportunistic Sensing* bezeichnet werden. Dies ist unseres Wissens die erste explizite

und umfassende Definition des Begriffs und geht über die impliziten Begriffsverständnisse in existierenden Publikationen hinaus, weil dort offensichtlich i. A. für konkrete Anwendungen bestimmte Ausprägungen einiger o. g. Dimensionen festgehalten werden.

2 Generische Software-Architektur für Participatory Sensing

Die technische Architektur für viele bestehende PS-Anwendungen ist auf den jeweiligen Anwendungsfall zugeschnitten und für diesen spezialisiert. In der Wissenschaft sind in den letzten Jahren aber erste *allgemeine* Rahmenwerke für PS entstanden, z. B.:

- Die **PRISM**-Plattform (DAS et al. 2010) sieht einen Server vor, der komplexere Aufgaben, welche von dritter Seite eingereicht werden, an eine Menge von Datensammlern aktiv verteilt. Wichtige Themen sind *Sicherheit*, *Datenschutz* und *Ressourcenverbrauch*. Auch die PEPSI-Infrastruktur fokussiert auf Datenschutzaspekte (CRISTOFARO & SORIENTE 2011).
- LASNIA et al. (2010) schlagen ebenfalls die aktive Aufgabenverteilung an registrierte Nutzer vor und betont die Notwendigkeit eines *Motivationsaspekts* für die Datensammler. Eine zentrale Aufgabe der Plattform ist hier das *Zusammenbringen* von Sammelaufgaben und -kandidaten. REDDY et al. (2010) haben intensiv untersucht, wie man aus einer Menge potenzieller Datensammler die besten identifizieren und zur Mitarbeit gewinnen kann.
- Die **Overseer** Architektur (LUQMAN & GRISS 2010) befasst sich mit der Vergabe auch komplex *unterstrukturierter Aufgaben* im Katastrophenfall. Kontextbasierte Aufgabenzuweisung und *hochdynamische Neuordnungen* sind hier wichtig. Es wird ein Multiagentensystem mit JADE implementiert.

Auf Basis der oben genannten Arbeitsdefinition, bisheriger PS-Anwendungen und den genannten akademischen Vorarbeiten, können **Anforderungen für PS-Plattformen** (im Gegensatz zur technischen Realisierung konkreter Anwendungen) abgeleitet werden:

Ökonomie und Portabilität: Weder komplexe Eingriffe in die Erzeugung der Software für Server- oder Apps durch Informatiker noch spezifische Anpassungen für bestimmte mobile Plattformen oder gar manuelle Installation von Software auf den Endgeräten sind *ökonomisch* für PS-Anwendungen mit großem Nutzerkreis vertretbar. Deshalb muss selbstständig ablauffähige Sammelsoftware, also Server-Software und Apps, für alle infrage kommenden Konstellationen von Hardware und Software, automatisch erzeugt und drahtlos verteilt werden können.

Gebrauchstauglichkeit: Das serverseitige Definieren neuer Aufgaben und Kampagnen muss auch für Fachanwender einfach möglich sein. Die intuitive Nutzbarkeit auf dem Client ist ohnehin eine selbstverständliche Anforderung.

Allgemeinverwendbarkeit: Um für ein sehr breites Spektrum von Anwendungen einsetzbar zu sein, sollte eine PS-Software-Plattform viele der in o. a. Definition gegebenen Freiheitsgrade auch anbieten (offener vs. geschlossener Teilnehmerkreis, aktive vs. passive Verteilung der Apps, ...), sie muss offen und erweiterbar sein (insbesondere zur Einbindung weiterer Module in der Meldungsanalyse-Pipeline (s. w. u.) und sie sollte Interoperabilität durch weitgehende Nutzung relevanter Standards unterstützen.

Für komplexere kommerzielle Anwendungen ist zusätzlich die **Anbindbarkeit an Fachanwendungen** von Bedeutung; sind „einfache Datensammelanwendungen“ nicht ausreichend, sondern sollte es auch möglich sein, komplexere Objektschemata mit Raumbezug editieren zu können, müsste die PS-Komponente als mobile Erweiterung zu existierenden Fachanwendungen funktionieren. In der Praxis impliziert das häufig die Notwendigkeit, Fachkarten (z. B. Forstgrundkarte) mit verschiedenen Sachdaten (z. B. Holzpolter-Platzierungen oder Wildgehege) mobil verfügbar zu machen. Dies legt die Nutzung größerer Bildschirme (Tablets) und Speicherressourcen nahe, ebenso die nahtlose Anbindung an rückwärtige Fachsysteme. Außerdem muss die Fachanwendung ermöglichen, relevante Kartenausschnitte mit Sachdaten an die App zu übertragen, ggf. bei Netzunterbrechung ohne Netzverbindung bearbeiten und die Eingaben wieder mit dem Fachsystem synchronisieren zu können. Abbildung 1 illustriert die Funktionalitäten, die eine generische PS-Plattform anbieten sollte:

Definition des Szenarios: Über eine Web-GUI definiert ein Fachanwender serverseitig ein PS-Szenario durch mindestens die folgenden Angaben: (i) **Was:** welche Art von Informationen soll gesammelt werden (offene Fragen oder Fragen mit Antworten aus Auswahlliste beantworten, Fotos machen; einzelne Position erfassen oder GPS-Track über eine längere Zeit, ...); (ii) **Wie** sieht die GUI für den mobilen Nutzer aus? (iii) **Von wem** – wer ist autorisiert, Daten einzugeben? (iv) **Wann:** in welchem Zeitraum sollen Daten erfasst werden? Z. B.: in welchen Intervallen und wie oft? (v) **Wo:** in welchem geographischen Gebiet?

Erzeugung der Apps: Aus den Spezifikationen der Szenario-Definition und der gespeicherten Datensammler-Profilen wird bestimmt, welche Nutzer als potenzielle Sammler angesprochen werden sollen. An diese wird dann die Aufgabe (App) aktiv verteilt. Dabei können komplexe Algorithmen zum Abgleich von Aufgabe und Sammlerprofilen zum Einsatz kommen. Die Vergabe kann auch dynamisch geplant und aktualisiert werden; z. B.: Datensammler können beim Eintritt in ein bestimmtes Gebiet für die Sammelaufgabe relevant und dann erst benachrichtigt werden. Grundsätzlich gibt es (gerade in Szenarien für Mängelmeldung) auch den *passiven* Server, wo die Initiative zum Herunterladen der App nur beim Sammler liegt.

Teilnehmerverwaltung: In Szenarien mit registrierten Datensammlern müssen die entsprechenden Nutzerdaten verwaltet werden.

Auftragsvergabeplanung/-vergabe: Auf der Basis der Szenario-Definition und der gespeicherten Datensammler-Profilen wird bestimmt, welche Nutzer als potenzielle Sammler angesprochen werden sollen. An diese wird dann die Aufgabe (App) aktiv verteilt. Dabei können komplexe Algorithmen zum Abgleich von Aufgabe und Sammlerprofilen zum Einsatz kommen. Die Vergabe kann auch dynamisch geplant und aktualisiert werden; z. B.: Datensammler können beim Eintritt in ein bestimmtes Gebiet für die Sammelaufgabe relevant und dann erst benachrichtigt werden. Grundsätzlich gibt es (gerade in Szenarien für Mängelmeldung) auch den *passiven* Server, wo die Initiative zum Herunterladen der App nur beim Sammler liegt.

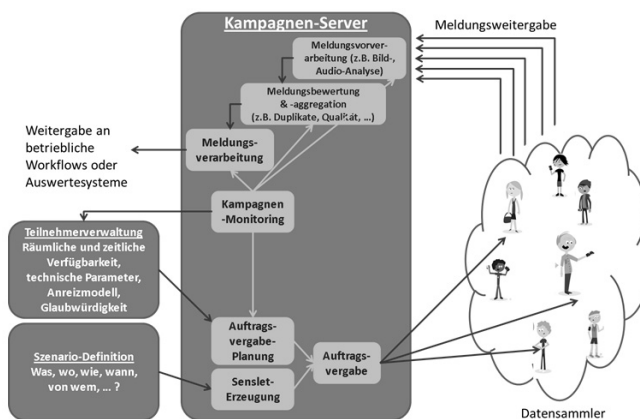


Abb. 1:
Konzeptuelle Architektur
für Participatory Sensing

Meldungssammlung und -weitergabe durch die Nutzer: Die Nutzer erfassen Daten und senden diese im Normalfall unmittelbar über die Mobilverbindung an den Server. In Spezialfällen (z. B. Arbeit ohne Netzverbindung wegen schlechter Mobilfunkabdeckung; oder in betrieblichen Szenarien: Vermeidung drahtloser Übertragung aus Sicherheitsgründen) kann die Meldungsweitergabe verzögert erfolgen, explizit manuell angestoßen werden oder über andere Medien (Festnetzleitung, USB-Wechseldatenträger, ...) bzw. manuelle Eingabe in einer Web-GUI funktionieren. Datensammlung erfolgt mithilfe der eingebauten Sensorik und Datenerfassungsmechanismen des mobilen Geräts (manuelle Eingabe, Video-/Fotokamera, Tonaufzeichnung) bzw. an das Gerät ein- oder anbaubare Sensorik (z. B. einem Geigerzähler zur Erfassung von Radioaktivität). Die Georeferenzierung erfolgt mithilfe der eingebauten GPS-Lokalisierung, kann aber normalerweise manuell nachbearbeitet, korrigiert oder ergänzt werden.

Pipeline zur Meldungsverarbeitung: Die Verarbeitung eingehender Meldung geschieht in einer erweiterbaren Pipeline von Arbeitsschritten. Je nach Meldungstyp können *Vorverarbeitungen* erforderlich sein, wie z. B. die Anwendung von Bilderkennungsalgorithmen auf Fotos. Sind alle Meldungen in einem einheitlichen internen Datenformat, können weitere Integrations- und Analyseschritte zur *Meldungsbewertung und -analyse* durchgeführt werden; z. B. die Zusammenführung von Mehrfachmeldungen oder ähnlichen Meldungen (Datenaggregation); die Qualitätsbewertung, z. B. aufgrund des Meldenden, des bisherigen Kampagnenverlaufs oder von Heuristiken; darauf aufbauend das Ausfiltern unsinniger/nutzloser (z. B. auch bereits bearbeiteter) Meldungen; oder die Meldungsgewichtung, falls es unterschiedliche Priorisierung von Meldungen bzw. der Reaktion auf Meldungen gibt. Bei der Meldungsverarbeitung gibt es einen fließenden Übergang zu den rückwärtigen Fachanwendungen und Auswertesystemen, der auch für eine nahtlose betriebliche Einbettung sichergestellt sein muss. Ein alleinstehendes PS-System könnte eine eigene Meldungsspeicherung und -darstellung besitzen (z. B. zur manuellen Weiterverarbeitung) oder auch Verfahren zur Erkennung komplexer Ereignisse bzw. räumlich-zeitlicher Beobachtungsmuster verwenden; ebenso ist die Weiterleitung an externe Systeme möglich, z. B. zur Visualisierung bzw. Reporting der Meldungseingänge; ebenso die Datenweitergabe an eigene Fachsysteme, wobei Konfliktauflösungsmechanismen bei der Synchronisation mobil erfasster Daten mit Bestandsdaten erforderlich sein können.

Kampagnenüberwachung: Der Verlauf einer Sammelkampagne wird überwacht (Monitoring) mit Hinblick auf vorab definierte Kriterien (z. B. Lieferung ausreichender Datenmenge oder -qualität); ggf. werden Maßnahmen als Reaktion auf Beobachtungen angestoßen. Z. B. könnten neue Aufgaben (Senslets) erzeugt werden, um fragwürdige Beobachtungen zu verifizieren.

3 Forschungs- und Entwicklungsthemen, Projektmethodik

Wie schon in der Einleitung und nach der PS-Arbeitsdefinition angesprochen, gibt es zwar eine Vielzahl akademischer Publikationen und Prototypen, die *einzelne Aspekte* des PS-Themas untersuchen, aber kaum umfassende, generische Lösungen, die eine vollständige Lösungsarchitektur praxistauglich umsetzen. Das heißt, es werden entweder nur spezielle Arbeitspunkte der obigen umfassenden Definition abgedeckt, es werden nur bestimmte Hardware-Betriebssystem-Konstellationen bedient, es werden wichtige Aspekte (wie Datenschutz) gar nicht bedacht, usw. Für eine praxistaugliche (und mittelfristig kom-

merziell nutzbare PS-Plattform) ist u. E. eine gemeinsame Abdeckung der bereits erwähnten Aspekte erforderlich, sowie darüber hinaus noch Forschungs- und Entwicklungs- bzw. Konsolidierungsarbeit zu leisten. Wir listen hier noch einmal die aus unserer Sicht wesentlichen Fragestellungen auf, die dazu gemeinsam beantwortet werden müssen:

Datenqualität: Gerade bei Szenarien ohne Authentifizierung bzw. mit der gesamten Öffentlichkeit als Nutzer können vorsätzliche oder versehentliche Fehlmeldungen anfallen. Daher sind Szenarien mit registrierten Nutzern immer zu empfehlen. Im Nutzerprofil können dann frühere Erfahrungen mit den Meldungen eines Nutzers gespeichert werden, was Prognosen auf das aktuelle/ zukünftige Verhalten zulässt. Ist das nicht (immer) möglich, können wiederholte Meldungen von unterschiedlichen Nutzern glaubwürdiger eingeschätzt oder auch Verifikationsaufträge an andere Nutzer versandt werden. Die Korrelation von verschiedenen Sensoren (z. B. die Erfassung der Position sowohl über GPS als auch über nahe WLAN-Stationen) eines Endgerätes kann ebenfalls die Datenqualität erhöhen und eine Fälschung erschweren. Die absichtliche Erhöhung des Aufwands zur Eingabe kann Fehlmeldungen verringern, birgt aber auch die Gefahr korrekte Meldungen abzuschrecken. Je nach Anwendungsfall können auch automatische Methoden zur Kontrolle der Eingaben verwendet werden.

Datenquantität & Anreizsysteme: Grundsätzlich sind viele Anwendungsszenarien davon abhängig, dass eine kritische Masse von Meldungen eingeht. Genügend Meldungen bzw. Sammler können auch die o. b. Qualitätsfragen vereinfachen. Eine zentrale Frage bei partizipatorischen Ansätzen ist somit die der Anreize für Datensammler. Es greifen hier grundsätzlich dieselben Motivationsmodelle wie im Web 2.0 allgemein, vom Altruismus über Win-Win-Konstellationen bis zu Bezahlmodellen. Auch wenn in eher „geschlossenen Szenarien“ (Angestellte, Ehrenamtliche) die Frage weniger relevant ist, fehlt doch sowohl eine umfassende Methodenübersicht als auch empirische Erfahrung damit, welche Methoden in welchem Nutzungskontext Erfolg versprechend sind. In der Literatur werden hier des Öfteren die Themen Rückmeldungs- und Spielemechanismen diskutiert. Die Praxistauglichkeit und Nachhaltigkeit solcher Ansätze ist noch weiter zu untermauern.

Datenschutz und -sicherheit: Gerade im Kontext registrierter, persönlich bekannter Nutzer als Datensammler ist die Frage des Datenschutzes von großer Bedeutung; nimmt man das sensible Thema Aufenthaltsmuster und persönliche Bewegungsprofile, steht einer optimalen Auftragsvergabe und auch Datenqualitätssicherung die Sicherung der Privatsphäre praktisch diametral entgegen. Auch wenn dies wiederum in manchen geschlossenen Szenarien übergangen werden kann und sich in sehr einfachen, offenen Szenarien durch quasi-anonyme Datensammlung umgehen lässt, muss es doch in einer generischen PS-Plattform explizit behandelt werden. (AHMADI et al. 2010; KAZEMI & SHAHABI 2011, PAYTON & JULIEN 2010) nehmen die Thematik explizit in ihre Architektur und als Forschungsgegenstand auf. Wissenschaftliche Herausforderungen in diesem Kontext sind neue Verfahren, die eine möglichst weitgehende Erfassung von Daten ermöglichen und gleichzeitig die Privatsphäre der Nutzer auf für diese verständliche Weise schützen.

Kampagnenorganisation: In dem Maße, wie PS-Anwendungen in die kommerzielle Nutzung kommen, wird es wichtiger, die Anforderungen eines konkreten Szenarios mit den verfügbaren Ressourcen zu erfüllen. Wenn bestimmte Daten in einem bestimmten Gebiet mit möglichst geringen und endlichen Ressourcen (Zeit; Menschen, denen Aufgaben übertragen werden können; Gelder für monetäre Anreize) erfasst werden sollen, dann muss eine

PS-Plattform Methoden und Werkzeuge für die Organisation zur Verfügung stellen. (LIU ET AL 2011) präsentieren einen ausgefeilten ökonomisch-entscheidungstheoretischen Ansatz für das Netzwerk-Management im PS.

Plattformunabhängige technische Realisierung: Um einen möglichst großen Kreis potenzieller Melder erreichen zu können, braucht man Anwendungen für möglichst viele (unterschiedliche) Endgeräte. Eine besondere Herausforderung dabei sind die *Sensoren* von Mobilgeräten, die von aktueller Software-Technik zur Erstellung von plattformübergreifend lauffähigen Anwendungen (insb. HTML5) noch nicht vollständig unterstützt werden (vgl. auch (ZAMBONELLI 2011)).

Um die beschriebenen Forschungs- und Entwicklungsthemen anzugehen, wird die folgende *Vorgehensweise* verfolgt:

Das Projekt arbeitet in zwei Strängen, die sukzessive verwoben werden. Einerseits wurde vom FZI (Forschungszentrum Informatik Karlsruhe) mit der KA-Feedback-Lösung bereits eine einfache generative Lösung geschaffen, die Szenarien zur Mängelmeldung sehr benutzerfreundlich umzusetzen erlaubt (BORGES et al. 2012). Diese wurde im Frühjahr 2012 mit Unterstützung der Stadt Karlsruhe veröffentlicht und ist seitdem im Produktivbetrieb als Meldeplattform für die Stadt Karlsruhe. Technisch wird zurzeit aber nur die Sammlung einfacher Daten (Text, Auswahlliste, Foto, Audio; mit Punktkoordinate) auf dem iPhone unterstützt. In diese KA-Feedback-Plattform sollen schrittweise komplexere Funktionalitäten der obigen generischen Architektur integriert werden, zunächst insbesondere zu Anreizsystemen. Es wird angestrebt, stark empirisch zu arbeiten und in der Projektlaufzeit noch weitere kleinere und größere Pilotinstallationen mindestens testweise in den Operativbetrieb zu bekommen, um bspw. die Auswirkungen verschiedener Anreizmechanismen experimentell untersuchen zu können.

Parallel hat die disy Informationssysteme GmbH mit der Cadenza Mobile Produktlinie die Möglichkeit geschaffen, die Funktionalitäten des existierenden Produktportfolios (Datenmanagement, Berichtssystem und räumliche Analysen für Sach- und Geodaten) auch von mobilen Endgeräten und auch im Offline-Betrieb für die Dateneingabe und -nutzung zu verwenden. Dabei wurden insbesondere Aspekte komplexer Fachszenarien (Nutzung von Fachkarten mit Media Tablet, Erfassung von Flächengeometrien, Nutzung von Fachkatas-tern) und der plattformunabhängigen Realisierung (für Android, iOS, Blackberry, usw.) beachtet. Für Letzteres wird ein Software-Stack auf der Basis des PhoneGap Entwicklungsrahmenwerks für JavaScript und HTML5 verwendet, zusammen mit SenchaTouch als GUI-Bibliothek und OpenLayers als Geodaten-Bibliothek. Dieser Projektteil sichert also die Plattformunabhängigkeit, die Abdeckung komplexer Fachszenarien und die Anbindung professioneller rückwärtiger Fachsysteme.

Für eine vollständige PS-Lösung sind abschließend die intelligenten Steuerungsmöglichkeiten des KA-Feedback-Forschungsstrangs mit den Entwicklungsarbeiten des Cadenza-Mobile-Arbeitsstranges zu verbinden.

4 Fazit

Participatory Sensing hat in den letzten Jahren eine Vielzahl von Anwendungen gefunden, deren kommerzielle Nutzung jedoch noch am Anfang steht, genau wie das wissenschaft-

liche Verständnis und unterstützende Infrastruktur, die über *einzelne* Anwendungsfälle hinaus geht. Nach einer Begriffsdefinition haben wir eine generische Architektur für PS vorgeschlagen; wichtige Aspekte der praktischen Umsetzung sind der generative Ansatz (automatische Erstellung der Software für verschiedene Anwendungsfälle aus einfachen Szenario-Parametern) und die plattformunabhängige Realisierung. Themen für die Weiterentwicklung, die u. E. auch noch weitere wissenschaftliche Untersuchungen erfordern (gerade empirischer Art), sind Datenqualität und -quantität, Datenschutz, Datenaggregation und intelligente Kampagnenorganisation.

Danksagung. Diese Arbeit wird gefördert vom deutschen Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des KMU-Innovativ-Projekts „PartSense – Participatory Sensing für Firmen und die öffentliche Verwaltung“ (FKZ 01IS11029A). Außer den Autoren hat zur Umsetzung der KA-Feedback-Lösung Niklas Plessing wesentlich beigetragen. Ebenso ist zur Konzeption, Umsetzung und Anbindung von disy Cadenza Mobile die Arbeit von Alexei Valikov, Marcus Briesen und Klaus Schmidt besonders zu erwähnen.

Literatur

- ACKER, A., LUKAC, M. & ESTRIN, D. (2010), Participatory Sensing for Community Data Campaigns: A Case Study. Technology Report of UC Los Angeles: Center for Embedded Network Sensing.
- AHMADI, H., PHAM, N., GANTI, R., ABDELZAHER, T., NATH, S. & HAN, J. (2010), Privacy-Aware Regression Modeling of Participatory Sensing Data. In: Sensys'10, ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems. Zurich, Switzerland.
- BORGES, J. DE MELO, ZACHARIAS, V. & PLESSING, N. (2012), PartSense: A Participatory Sensing Platform and Its Instantiation KA-Feedback. In: GEOINFORMATIK 2012.
- BURKE, J., ESTRIN, D., HANSEN, M., PARKER, A., RAMANATHAN, N., REDDY, S. & SRIVASTAVA, M.B. (2006), Participatory Sensing. In: WSW'06 Workshop at SenSys'06, ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems. Boulder, Colorado, USA.
- CAMPBELL, A. T., EISENMAN, S. B., LANE, N. D., MILUZZO, E. & PETERSON, R. A. (2006), People Centric Urban Sensing. In: WICON'06 Proc. 2nd Int. WS on Wireless Internet.
- CAMPBELL, A. T., EISENMAN, S. B., LANE, N. D., MILUZZO, E., PETERSON, R. A., LU, H., ZHENG, X., MUSOLESI, M., FODOR, K. & AHN, G. S. (2008), The Rise of People-Centric Sensing. In: IEEE Internet Computing 12(4), 12-21.
- CORNELIUS, C., KAPADIA, A., KOTZ, D., PEEBLES, D., SHIN, M. & TRIANOPOULOS, N. (2008), AnonySense: Privacy-Aware People-Centric Sensing. In: MobiSys'08, ACM.
- CRISTOFARO, E. DE & SORIENTE, C. (2011), PEPSI: Privacy-Enhanced Participatory Sensing Infrastructure. In: ACM Conference on Wireless Network Security (WiSec'11). Hamburg. Germany.
- CUFF, D., HANSEN, M. & KANG, J. (2008), Urban Sensing: Out of the Woods. In: Communications of the ACM, 51(3), 24-33.
- DAS, T., MOHAN, P., PADMANABHAN, V., RAMJEE, R. & SHARMA, A. (2010), PRISM: Platform for Remote Sensing Using Smartphones. In: MobiSys'10, Proc. 8th Int. ACM Conference on Mobile Systems, Applications, and Services. San Francisco, California, USA.

- GOLDMAN, J., SHILTON, K., BURKE, J., ESTRIN, D., HANSEN, M., RAMANATHAN, N., REDDY, S., SAMANTA, V. & SRIVASTAVA, M. (2009), Participatory Sensing: A Citizen-Powered Approach to Illuminating the Patterns That Shape Our World. White Paper, Woodrow Wilson International Center for Scholars.
- JIANG, M. & MCGILL, W. L. (2010), Human-Centered Sensing for Crisis Response and Management Analysis Campaigns. In: 7th Int. ISCRAM Conference.
- KAPADIA, A., KOTZ, D., TRIANDOPOULOS, N. (2009), Opportunistic Sensing: Security Challenges for the New Paradigm. In: First Int. Workshop on Communication Systems and Networks COMSNETS.
- KAZEMI, L. & SHAHABI, C. (2011), A Privacy Aware Framework for Participatory Sensing. In: SIGKDD Explorations, 13 (1), 43-51, ACM.
- LASNIA, D., BROERING, A., JIRKA, S. & REMKE, A. (2010), Crowdsourcing Sensor Tasks to a Socio-Geographic Network. In: 13th AGILE Int. Conf. on Geographic Information Science.
- LIU, C. H., HUI, P., BRANCH, J. W., BISDIKIAN, C. & YANG, B. (2011), Efficient Network Management for Context-Aware Participatory Sensing. In: IEEE SECON 2011.
- LUQMAN, F. & GRISS, M. (2010), Overseer: A Mobile Context-Aware Collaboration and Task Management System for Disaster Response. In: Proc. 8th Int. Conf. on Creating, Connecting and Collaborating through Computing.
- NAGARAJAN, M., GOMADAM, K., SHETH, A. P., RANABAHU, A., MUTHARAJU, R. & JADHAV, A. (2009), Spatio-Temporal-Thematic Analysis of Citizen-Sensor Data – Challenges and Experiences. In: 10th Int. Conf. on Web Information Systems Engineering.
- PAYTON, J. & JULIEN, C. (2010), Integrating Participatory Sensing in Application Development Practices. In: FSE/SDP Workshop on Future of Software Engineering Research (FoSER '10), 277-282, ACM.
- RATTI, C., BRITTER, R. E., RESCH, B., MITTLBOECK, M. & GIRARDIN, F. (2009), Live Geography – Embedded Sensing for Standardised Urban Environmental Monitoring. In: Int. Journal on Advances in Systems and Measurements, 2.2/3 2009, 156-167.
- REDDY, S., ESTRIN, D. & SRIVASTAVA, M. (2010), Recruitment Framework for Participatory Sensing Data Collection. In: Proc. Int. Conference on Pervasive Computing (Pervasive'2010).
- RESCH, B. (2012, in press), Live Geography – Standardised Geo-Sensor Webs for Real-time Monitoring in Urban Environments. Dissertations in Geographic Information Science. Akademische Verlagsgesellschaft AKA GmbH, Heidelberg.
- SHETH, A. (2009), Citizen Sensing, Social Signals, and Enriching Human Experience. In: IEEE Internet Computing, July/August 2009, 80-85.
- ZAMBONELLI, F. (2011), Pervasive Urban Crowdsourcing: Visions and Challenges. In: 9th Annual IEEE Int. Conference on Pervasive Computing and Communications, PerCom 2011, Workshop Proceedings, 578-583, Seattle, Washington, USA.