



People as Sensors – Kontextuelle Messinformation für Integrative Entscheidungsunterstützung

People as Sensors bezeichnet ein Messmodell, in dem Menschen als Sensoren mit kontextueller Intelligenz und umfassendem lokalem Wissen fungieren. So können subjektive Beobachtungen mit objektiven Messdaten von geeichten Sensoren verschnitten werden, um die Datenbasis für Entscheidungsunterstützung in verschiedenen Bereichen wie Sicherheitsmanagement, Gesundheitsmanagement, Stadtplanung oder Verkehrsmanagement zu erweitern.

Ubiquitäre Sensornetzwerke können potenziell einen essentiellen Mehrwert für Entscheidungsunterstützung in unterschiedlichsten Bereichen wie Sicherheitsmanagement, Umweltbeobachtung, Verkehrsmanagement oder im Gesundheitswesen darstellen. Derzeitige Implementierungen von Sensornetzen sind allerdings nur spärlich verfügbar. Darüber hinaus sind GIS-basierte Systeme Entscheidungsunterstützung oft nur bedingt bis gar nicht für die Einbindung und Analyse von Messdaten in naher Echtzeit konzipiert.

Ähnlich wie Sensornetzwerke konnten auch Location-based Services (LBS), deren Marktvolumen im Juni 2010 mit 20 Milliarden US-Dollar beziffert wurde, und Smartphone-basierte Applikationen den hohen Erwartungen noch nicht vollends gerecht werden. Gründe dafür umfassen unter anderem Ungenauigkeiten in der Positionierung von Smartphones, Mängel in der Benutzerfreundlichkeit, Wildwuchs an nicht-standardisierten semantischen Modellen, und vor allem Mangel an personalisierten Kontext-Informationen.

Die erwähnten Mängel verhinderten bisher auch die umfassende Umsetzung der Vision von „People as Sensors“, welche in verschiedenen industriellen und akademischen Forschungsprojekten intensiv verfolgt wird (z.B. Nokias „Wearable Eco-Sensor“ Konzept, On Line Disaster Response Community, oder im Lift Lab). People as Sensors bezeichnet ein Messmodell, in dem nicht nur geeichte Messgeräte Daten liefern, sondern Menschen subjektive „Messungen“ wie Sinneseindrücke, Empfindungen oder persönliche Beobachtungen beitragen. Diese subjektiven Messungen können spezialisierte Sensornetzwerke ergänzen, oder potenziell sogar ersetzen. Der Fachterminus „People as Sensors“ wird in der Literatur austauschbar verwendet mit den Begriffen „Citizens as Sensors“ oder „Humans as Sensors“.

Unterstützt wird die Umsetzung von People as Sensors Konzepten durch den Rückgang der weltweiten „digitalen Kluft“. Die digitale Kluft bedeutet, 1.) dass die Chancen auf Zugang zum Internet und anderen digitalen IKT ungleich verteilt und mitunter auch von sozialen Faktoren abhängig sind, und 2.) dass sich diese Unterschiede gesellschaftlich auswirken – wer also Zugang zu modernen Kommunikationstechniken hat, hat nach der These der digitalen Kluft bessere soziale und wirtschaftliche Entwicklungschancen. Während die digitale Kluft innerhalb von Ländern immer noch stark das Maß des Zugangs zu Information definiert, ist auf einer globalen Skala eine rapide Verminderung der digitalen Kluft zu beobachten. Dies ist speziell bedingt durch das starke Wachstum von großen IKT-Märkten wie China, Indien, Südostasien, Südamerika und Afrika. 2010 betrug die Durchdringungsrate von Mobiltelefonen 76,2% der Weltbevölkerung. In den „Americas“ (Nord-, Mittel- und Südamerika) wird diese Rate mit 94,1% beziffert, in den CIS-Staaten (Commonwealth of Independent States) sogar mit 131,5%. Die zwei am schnellsten wachsenden Mobilfunkmärkte China und Indien weisen derzeit laut International Telecommunications Union (ITU) eine Durchdringungsrate von 64% bzw. 70% auf.

Ein weiterer unterstützender Faktor für das Konzept People as Sensors ist das exponentielle Wachstum der Anzahl von Internetnutzern. Prognosen gehen davon aus, dass zwischen 2010 und 2020 die Anzahl der Internetbenutzer drastisch ansteigen wird. Während 2010 etwa 2 Milliarden Menschen das Internet nutzten, werden 2020 mehr als 50 Milliarden Geräte damit verbunden sein, was die Realisierung der Vision von People as Sensors realistischer erscheinen lässt.

State of the Art – Existierende Anwendungen und Konzepte

In den letzten Jahren wurde eine Reihe von Applikationen und Konzepte im Großbereich People as Sensors entwickelt. Hier handelt es sich einerseits um dezidierte Anwendungen für mobile Endgeräte oder spezielle Web Apps; andererseits werden neue Konzepte wie z.B. „Collective Sensing“ erforscht, also die Informationsgenerierung aus bestehenden IKT-basierten Netzwerken wie dem Mobilfunknetz, Twitter oder Flickr.

Eine erweiterte Geo-Tracking Applikation wurde von den Research Studios Austria (iSPACE) gemeinsam mit der Fachhochschule Salzburg konzipiert und implementiert. Ähnlich zum Konzept von „Volunteered Geographic Information“, wird Menschen damit die Möglichkeit eröffnet, Geodaten über eine mobile Applikation in ein Datenverarbeitungssystem einzuspeisen. Positionsdaten können so gemeinsam mit **subjektiven „Messdaten“ (Human Observations)** direkt vom Smartphone über das Mobilfunknetzwerk an einen zentralen Server geschickt werden, welcher die Daten über verschiedene Service-Interfaces zur Verfügung stellt. Die Applikation zeichnet sich durch das Design von sehr einfach bedienbaren und intuitiv gestalteten Benutzerschnittstellen aus, was das vorausgesetzte technische Know-how des Nutzers minimal hält. Mit Hilfe der mobilen Applikation können Benutzer über ein einfach und intuitiv zu bedienendes Interface ihre persönlichen Eindrücke über vordefinierte Klassen kategorisiert in das Entscheidungsunterstützungssystem (Spatial Decision Support System – SDSS) einspeisen – z.B. über ampelartige Eingaben über die aktuelle Luftqualität. Inspiriert von verschiedensten aktuellen Smartphone-Anwendungen ist das User Interface auf die Eingabeschablonen ja/nein und grün/gelb/rot eingeschränkt, wie in Abb. 1 dargestellt.



Abbildung 1: Mobile People as Sensors Anwendung mit Vordefinierten „Messklassen“.

Durch die oben beschriebene Festlegung auf vordefinierte Klassen entsteht jedoch eine gewisse Unschärfe in der Beurteilung des beobachteten Phänomens, ausgelöst durch die unterschiedliche semantische Wahrnehmung eines jeden „Sensors“. Diese Unschärfe kann mit einem Uncertainty-Faktor qualitativ beschrieben werden und minimiert die Einstiegshürde in Bedienkonzepten spezialisierter Anwendungen.

Ein entscheidender Vorteil der entwickelten Anwendung ist der modulare Aufbau und die breite Verwendung der beschriebenen Design-Schablonen. So kann die Anwendung auf sehr einfache Art und Weise durch den Austausch des Frontends in andere Anwendungsdomänen portiert werden. Diese umfassen z.B. das Gesundheitswesen (biometrische Überwachung von gefährdeten Patienten), Tourismus (Bewertung von Pistenzustand oder Freundlichkeit der Bedienung auf Skihütten), Stadtplanung (Rückmeldung über Sanierungsbedarf auf Straßen), oder Umweltbeobachtung (Bürgerinformation über lokale Luftqualität). Diese Art von „User-Generated Content“ gewinnt auch in der Entscheidungsunterstützung im Bereich Sicherheitsmanagement zunehmend an Bedeutung, z.B. für die Übertragung von Statusdaten (Verletzungsgrad von Personen, Zerstörungsgrad von Gebäuden nach Erdbeben etc.) oder Geo-Tagging (Aufenthaltsort verletzter Personen).

Ein Infrastruktur-basierter Ansatz, bei dem bestehende IKT-Netzwerke genutzt werden, um aus kollektiven Daten kontextuelle Information zu generieren, ist **Collective Sensing**. Hierbei werden nicht wie bei Smartphone-basierten Anwendungen und speziellen Web Apps Einzel-Inputs betrachtet, sondern die Gesamtheit der Kommunikation innerhalb eines IKT-Netzwerkes. In einer konkreten Anwendung konnten so wertvolle Informationen über das Erdbeben und den anschließenden Tsunami in Japan im März 2011 gewonnen werden. Hier wurde die *Tweet-o-Meter* Applikation genutzt, um Anomalien in Twitteraktivitäten zu erkennen. Direkt nach dem Erdbeben begannen Twitter-Benutzer, Statusberichte, Videos und Zustände von zerstörten Wohngebieten und Straßen mitzuteilen, was in naher Echtzeit als Indikator für ein außergewöhnliches Ereignis interpretiert werden konnte. Außerdem konnten in der Folge Kommentare und Posts semantisch analysiert und die daraus gewonnene Information Einsatzkräften zugänglich gemacht werden.

Echtzeit-Integration in GI-Systeme

Eine entscheidende Herausforderung im Bereich People as Sensors aus Sicht der Geoinformatik ist die Integration von benutzergenerierten Daten in Systeme zur Entscheidungsunterstützung, wie z.B. der Live Geography Infrastruktur, die Komponenten für Sensordatenaufnahme, Sensor Fusion, web-basierte Geo-Datenanalyse und Visualisierung auf Basis offener Standards definiert, wie in Abb. 2 dargestellt.

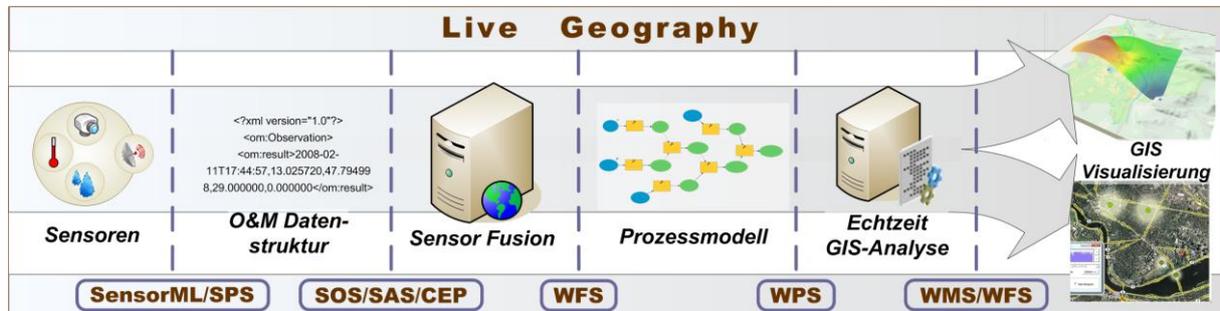


Abbildung 2: Live Geography Workflow für die Integration von Messdaten in Echtzeit.

Ein essentieller Mehrwert von People as Sensors erschließt sich also durch deren Integration in weit verbreitete Infrastrukturen zur Entscheidungsunterstützung, wie etwa die Live Geography Infrastruktur, z.B. als OGC Sensor Observation Service (SOS). So können Daten von geeichten Sensoren durch persönliche subjektiv empfundene Eindrücke ergänzt werden. Dieser Ansatz von People as Sensors fügt automatischen Sensormessungen einen individuellen Kontext hinzu, der für die kontextunterstützte Interpretation von Messdaten von entscheidender Bedeutung ist.

Technisch gesehen kann die Datenbereitstellung sowohl über pull-basierte Mechanismen (OGC SOS, Keyhole Markup Language – KML oder GeoRSS), als auch über push-basierte Alerting-Services (OGC Sensor Alert Service – SAS) erfolgen. Der gesamte Workflow für die Einbindung von Messdaten in Systeme zur Entscheidungsunterstützung ist in Abb. 3 dargestellt.

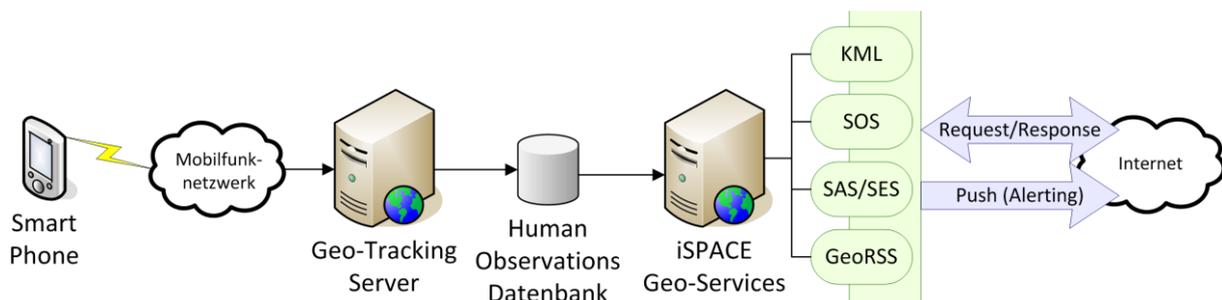


Abbildung 3: Einbindung von „Human Observations“ in Analyse- und Visualisierungssysteme.

Durch die Bereitstellung der Messungen über standardisierte Service-Schnittstellen können diese Daten sehr einfach direkt in Analyse-, Visualisierungs- oder Archivierungssysteme eingebunden werden. Hierfür ist Datenqualität der Kernbestandteil, wobei Qualitätskriterien Genauigkeit, Vollständigkeit und Aktualität umfassen. Die dargestellte Lösung der standardisierten Integration von Sensormessungen in GI-Systeme bietet dabei folgende Vorteile:

- direkte on-the-fly Integration in GI-System ohne Zwischenspeicherung
- Verminderung des Risikos eines Performance-Bottlenecks durch zu große Datenmengen
- kein „Single Point of Failure“ durch eine verteilt organisierte Sensor-Servicearchitektur
- es muss kein Use-Case motiviertes und damit funktional eingeschränktes Web-Portal implementiert werden, sondern es besteht die Möglichkeit, Live-Sensordaten über standardisierte und weit verbreitete OGC Interfaces zu integrieren.

Eine weitere zentrale Herausforderung in der Integration von Human Observations in bestehende Messsysteme ist die Definition konsistenter semantischer Kodierungen. Dies bedingt sowohl Standardisierung der Datenkodierung selbst, als auch eine Definition von messbaren Phänomenen. Derzeitige Ansätze umfassen hier „Human Observations“ oder die Sensor Observable Registry. Diese Standardisierung ist auch Basis für die

weitere Verbreitung von bestehenden Community-basierten Integrationsplattformen wie CrowdMap, Singapore Live! oder GeigerCrowd. Hierfür werden Linked Data Ansätze zur domänenübergreifenden Definition semantischer Regeln und die Definition von ontologischen Beziehungen von entscheidender Wichtigkeit sein.

Methodische Aspekte – Semantische Modelle, Qualitätssicherung und VGI

Durch die Verwendung einer **standardisierten Messinfrastruktur** – auf Service- und auf Daten-Ebene – wird die Integrationsmöglichkeit mit existierenden Mess- und Analysesystemen gewährleistet. Zukünftig ist geplant, dieses Konzept mit Community-Projekten wie Ushahidi oder Twitter im Sinne neuartiger Collective Sensing Konzepte zu integrieren, womit sich neue Möglichkeiten der qualitativen Informationszusammenführung in Common Operational Picture (COP) Systemen, sowie für Infrastrukturan-sätze und Richtlinien wie GMES, INSPIRE, GMES und SEIS eröffnen.

Im Bezug auf People as Sensors spielt auch das Konzept von **Volunteered Geographic Information (VGI)** eine zentrale Rolle. Derzeit sehen wir eine überwältigende Bereitschaft von Bürgern, ihre Eindrücke, Kommentare und persönlichen Beobachtungen mitzuteilen. Diese reichen von Facebook-Posts über Twitter-Tweets oder kommentierte Foto-Uploads auf Flickr. Wie bereits oben erwähnt kann diese Art von kontextueller Information potenziell eine starke Basis für operationelle Echtzeit-Strategien in den Bereichen Sicherheitsmanagement, dynamische Verkehrsleitsysteme oder Stadtmanagement bilden.

Eine weiter zentrale Frage ist die **Repräsentativität von VGI**, die wahrscheinlich nur mit Hilfe von kombinierten bottom-up und top-down Ansätzen gelöst werden kann. In bottom-up Ansätzen bilden Benutzergruppen und Communities ihre eigenen semantischen Objekte und definieren Beziehungen zwischen diesen in eigenen Taxonomien. Im Gegensatz dazu versuchen top-down Ansätze, semantische Regeln und ontologische Beziehungen generisch zu definieren – vor einer praktischen Anwendung und meist entkoppelt von einem speziellen Anwendungsfall. Nur die Kombination dieser Ansätze über Linked Data Konzepte (und nicht ausschließlich mit starren und unflexiblen Ontologie-Methodiken) kann zu domänenübergreifenden und umfassenden semantischen Modellen führen. Um die entstehenden Datenbestände zu durchsuchen wird das neuartige Konzept der semantischen Suche eine entscheidende Rolle spielen.

In weiterer Folge scheint es auch selbstverständlich, dass bereitgestellte Information hochgenau, verlässlich und eindeutig sein muss. Da wir in naher Zukunft mit einer großen Menge von Echtzeitdaten konfrontiert sein werden, werden automatisierte Mechanismen für **Qualitätssicherung**, Fehlerkontrolle und -korrektur, sowie dynamischer Eruiierung von „Uncertainty“ (Messungenauigkeiten) einschließlich entsprechender externer Kalibrierung benötigt. In diesem Bereich gibt es derzeit verschiedene Ansätze wie Complex Event Processing (CEP) für Fehlererkennung, Standardisierungsbemühungen für die Repräsentation von Messunsicherheiten in Sensordaten (z.B. Uncertainty Markup Language – UncertML), oder proprietäre Profile für die Definition von Validitätsintervallen einzelner Messungen.

Wahrung der Privatsphäre von Bürgern

Trotz der in der Einleitung beschriebenen Verminderung der digitalen Kluft und dem damit verbundenen Bewusstsein für Möglichkeiten digitaler Kommunikation stellt sich die Frage, wie Menschen dazu animiert werden können, aktiv ihre Messungen und Beobachtungen beizutragen, und somit als „menschliche Datenquellen“ zu fungieren. Dies ist eine notwendige Voraussetzung für die Nutzung von kollektiver Information in Bereichen wie Umweltbeobachtung, Sicherheitsmanagement, Verkehrsleitung oder e-Tourismus. Diese Art von **aktiver Partizipation** in verschiedenen entscheidungskritischen Bereichen bedingt eine Balance zwischen der Bereitstellung von ubiquitärer Echtzeit-Information und der Wahrung der Privatsphäre von Bürgern. Ein entscheidender Punkt ist hier, dass Benutzer sich über persönliche und private Daten bewusst sein müssen, *bevor* diese Daten geteilt werden. Die essentielle Herausforderung in diesem Kontext besteht allerdings darin, Wege für entsprechende Bewusstseinsbildung zu finden. AGBs und Nutzungsbedingungen sind oft sehr schwer verständlich für Technik-Laien, weshalb alternative Wege gefunden werden müssen, diese Information zu kommunizieren.

Weiterführend stellt sich die Frage, wie die Privatsphäre von Bürgern im Umgang mit persönlichen Daten geschützt werden kann. Ein möglicher Lösungsansatz ist wie oben erwähnt **Collective Sensing**. Diese Methode basiert nicht auf der Auswertung von Datensätzen einzelner Personen, sondern analysiert aggregierte und anonymisierte Daten aus kollektiven Quellen, wie z.B. Twitter, Flickr oder dem Mobilfunknetzwerk. Diese Vorgehensweise liefert einen Grobüberblick über die aktuelle Situation in unserer Umwelt, ohne persönliche Daten zu involvieren. In diesem Fall muss Benutzern natürlich die Möglichkeit gegeben werden, bewusst die Verwendung ihrer Daten zu unterbinden, also sogenannte „Opt-in“ und „Opt-out“, Möglichkeiten geschaffen werden. Damit können Benutzer selbst entscheiden, ob eine Anwendung ihre Daten verwenden darf, was potenziell zu gesteigertem Bewusstsein über die Art und den Umfang der genutzten Daten erzeugen kann.

Ein weiterer essentieller Aspekt im Kontext von feinkörnigen Sensormessungen sind mögliche persönliche Konsequenzen für Einzelpersonen. Begriffe wie „Luftqualität“ und „Schadstoffausbreitung“ sind nur **Surrogate** für breitere und direktere Einflüsse auf Menschen, wie beispielsweise Lebenserwartung, Atemwegserkrankungen oder Lebensqualität. Diese Tatsache erzeugt die Notwendigkeit, die richtige Granularität in der Informationsbereitstellung zu finden. Feinkörnige Umweltinformation muss also nicht immer das Optimum sein, weil sehr kleinräumige Rückschlüsse gezogen werden können, im Extremfall sogar auf Individuen. Das könnte im Gegenzug wiederum dramatische Auswirkungen auf Bereiche wie das Gesundheitswesen, die Versicherungsbranche, Immobilienmärkte oder Stadtplanung nach sich ziehen. Hier stellt sich allerdings auch die Frage, ob und wie ein technisches System machbar ist, in dem Transaktionen nicht verfolgbar sind oder gespeichert werden. Viele Transaktionen wie Mobilfunktelefonate, Kreditkartenzahlungen oder automatische Mauteinhebung basieren auf Systemen, die Logging-Funktionalität haben müssen, um Zahlungen zu verbuchen und um automatisiert Berichte erstellen. Deshalb müssen diese Systeme Transaktionen zwangsweise speichern – zumindest für kurze Zeit. Deshalb gilt es, dafür den **rechtlichen Rahmen auf nationaler und globaler Ebene** zu schaffen. Der größte limitierende Faktor in diesem Zusammenhang sind unterschiedliche Interpretationen des Konzeptes der „Privatsphäre“ in verschiedenen Teilen der Welt. So gilt die Privatsphäre eines Menschen in den USA als wirtschaftliches Gut und kann auch entsprechend gehandelt werden, während innerhalb der EU die Privatsphäre als Grundrecht angesehen wird und damit per definitionem von allgemein gültigen Gesetzen geschützt ist. Dies bedeutet, dass supra-nationale Gesetzgeber und Entscheidungsträger aufgefordert sind, entsprechende gesetzliche Rahmenbedingungen zu schaffen, um diese Diskrepanz zu beseitigen. Dies umfasst auch die Frage von Datenbesitz – derzeit ist nicht restlos geklärt, wem persönliche Daten gehören: den Erzeugern (z.B. Bürgern oder Mobilfunkbetreibern), Institutionen, die Systeme für die Sammlung solcher Daten betreiben oder Datenbereitstellern? Darüber hinaus muss die Frage geklärt werden, wer dafür verantwortlich zeichnet, wenn Information auf Grund mangelhafter Basisdaten ungenau oder fehlerhaft sind und damit Entscheidungen falsch getroffen werden.

Fazit

People as Sensors bezeichnet ein Messmodell, in dem nicht nur geeichte Messgeräte Daten liefern, sondern Menschen subjektive „Messungen“ wie Sinneseindrücke, Empfindungen oder persönliche Beobachtungen beitragen. So können Menschen als Sensoren mit kontextueller Intelligenz und umfassendem lokalem Wissen fungieren. Weiterführend können subjektive Beobachtungen mit objektiven Messdaten von geeichten Sensoren verschnitten werden, um die Datenbasis für Entscheidungsunterstützung in verschiedenen Bereichen wie Sicherheitsmanagement, Gesundheitsmanagement, Stadtplanung oder Verkehrsmanagement zu erweitern. Zukünftige wissenschaftliche und praktische Fragestellungen umfassen die Definition von semantischen Regelungen nach neuartigen Linked Data Ansätzen, Qualitätssicherung der Messinformation mit Hilfe von Uncertainty-Faktoren, und die Integration mit bestehenden Systemen zur Entscheidungsunterstützung. Nur so können verlässliche, vollständige und eindeutige Informationen unterstützend in Entscheidungsprozesse eingebunden werden.

Ein breites Forschungsfeld eröffnet sich im Bezug auf die Wahrung der Privatsphäre von Bürgern. Ein möglicher Lösungsansatz ist wie oben erwähnt Collective Sensing. Diese Methode basiert nicht auf der Auswertung von Datensätzen einzelner Personen, sondern analysiert aggregierte und anonymisierte Daten aus kollektiven Quellen, wie z.B. Twitter, Flickr oder dem Mobilfunknetzwerk. Diese Vorgehensweise liefert einen Grobüberblick über die aktuelle Situation in unserer Umwelt, ohne persönliche Daten zu involvieren. Generell muss allerdings festgehalten werden, dass supra-nationale Gesetzgeber und Entscheidungsträger aufgefordert sind, entsprechende gesetzliche Rahmenbedingungen zu schaffen, um Bewusstseinsbildung zu fördern, Barrieren zu beseitigen und Vertrauen in neuartige Messtechnologien zu schaffen. So kann potenziell ein profunder Demokratisierungsprozess einsetzen, indem Entscheidungsträger die Anliegen von Bürgern besser verstehen und gezielt darauf reagieren können.

Autor:

Prof. Dr. Bernd Resch

Universität Osnabrück
Institut für Geoinformatik und Fernerkundung (IGF)
Email: bernd.resch@uni-osnabrueck.de

Web: <http://www.igf.uni-osnabrueck.de>